



TUGAS AKHIR - TM 141585

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI
TEMPERATUR DAN DEBIT *THERMAL OIL*
SEBAGAI *HEATER GENERATOR* TERHADAP
PERFORMANSI MESIN PENDINGIN DIFUSI
ABSORPSI R407F, R22 - DMF**

RIZKIAWAN MUHAMAD FIRMANSYAH
NRP. 2113 106 003

Dosen Pembimbing
Ary Bachtiar K.P,S.T.,M.T.,Ph.D

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TM 141585

**EXPERIMENT STUDY OF THE INFLUENCE OF
THERMAL OIL TEMPERATURE AND FLOW AS
HEATER GENERATOR TOWARD THE
PERFORMANCE OF DIFFUSION ABSORPTION
REFRIGERATION SYSTEM WITH
R407F, R22 - DMF**

RIZKIAWAN MUHAMAD FIRMANSYAH
NRP. 2113 106 003

Academic Supervisor
Ary Bachtiar K.P,S.T.,M.T.,Ph.D

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI
TEMPERATUR DAN DEBIT *THERMAL OIL*
SEBAGAI *HEATER GENERATOR* TERHADAP
PERFORMANSI MESIN PENDINGIN DIFUSI
ABSORPSI R407F, R22-DMF**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Konversi Energi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

RIZKIAWAN MUHAMAD FIRMANSYAH
NRP. 2113 106 003

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ary Bachtiar K.P, S.T., M.T., Ph.D(Pembimbing)
NIP. 197105241997021001
2. Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng.....(Penguji 1)
NIP. 195310191979031003
3. Dr. Bambang Arip Dwiyanoro, S.T., M.Eng.....(Penguji 2)
NIP. 197804012002121001
4. Ir. Kadarisman.....(Penguji 3)
NIP. 194908291976031002

**SURABAYA
JANUARI, 2016**

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI
TEMPERATUR DAN DEBIT *THERMAL OIL*
SEBAGAI HEATER GENERATOR TERHADAP
PERFORMANSI MESIN PENDINGIN DIFUSI
ABSORPSI R407F, R22 – DMF**

Nama Mahasiswa : Rizkiawan Muhamad Firmansyah
NRP : 2113 106 003
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ary Bachtiar K.P.,S.T.,M.T.,Ph.D

ABSTRAK

Ditengah ketergantungan kita terhadap energi listrik perlu dilakukan inovasi teknologi agar ketergantungan akan energi listrik bisa dikurangi. Salah satu inovasi teknologi yang berpotensi untuk dikembangkan yaitu mesin pendingin difusi absorpsi. Mesin pendingin difusi absorpsi merupakan suatu mesin pendingin yang memanfaatkan energi panas sebagai sumber utamanya. Energi panas tersebut dapat diperoleh dari panas matahari, panas dari mesin industri maupun panas dari motor bakar. Energi panas tersebut akan diinputkan kepada generator. Generator tersebut diibaratkan kompresor pada mesin pendingin kompresi uap. Perbedaannya generator menggunakan input berupa energi panas sedangkan kompresor menggunakan input energi listrik. Eksperimen ini bertujuan untuk melakukan analisa unjuk kerja pada mesin pendingin difusi absorpsi sehingga performa mesin dapat meningkat.

Eksperimen dilakukan dengan menggunakan mesin pendingin difusi absorpsi yang berada di jurusan Teknik Mesin ITS yang telah dimodifikasi pada bagian refrijeran menggunakan refrijeran campuran antara R407F dan R22. Komposisi R407F dan R22 pada massa total refrijeran yaitu masing – masing 50%. Fluida kerja yang digunakan adalah pasangan refrijeran-DMF

(Dimethylformamida) dengan konsentrasi massa 60% - 40%. Sumber panas yang digunakan menggunakan thermal oil sebagai heater generator. Pengambilan data dilakukan dengan 3 variasi debit thermal oil yaitu : 6 liter/jam, 8 liter/jam dan 10 liter/jam. Sedangkan temperatur thermal oil divariasikan sebesar 90°C, 110°C dan 130°C. Variasi tersebut dipilih agar dapat membandingkan dengan penelitian terdahulu apabila menggunakan variasi debit dan temperatur thermal oi yang sama apakah akan meghasilkan performansi yang lebih baik atau tidak.

Hasil yang diperoleh berupa nilai laju perpindahan panas pada generator (Q_{gen}) terbesar yaitu 235,42 watt , laju alir massa refrijeran (\dot{m}_{ref}) terbesar yaitu 0,00074 kg/s , panas yang dibuang kondensor (Q_{cond}) terbesar yaitu 142,99 watt, panas yang diserap evaporator (Q_{evap}) terbesar yaitu 142,01 watt efisiensi generator (η_{gen}) terbesar yaitu 0,24 serta Coefficient Of Performance (COP) terbesar yaitu 0,60 yang keseluruhannya didapatkan pada pada saat temperatur thermal oil sebesar 130°C dan debit 6 liter/jam.

Kata Kunci : Difusi Absorpsi, Heater Generator, R407F, R22, DMF

**EXPERIMENT STUDY OF THE INFLUENCE OF
THERMAL OIL TEMPERATURE AND FLOW AS
HEATER GENERATOR TOWARD THE
PERFORMANCE OF DIFFUSION ABSORPTION
REFRIGERATION SYSTEM WITH
R407F, R22 - DMF**

Student Name : Rizkiawan Muhamad Firmansyah
NRP : 2113 106 003
Department : Mechanical Engineering FTI-ITS
Academic Supervisor : Ary Bachtiar K.P.,S.T.,M.T.,Ph.D

Abstract

In the midst of our dependence on electrical energy needs to be done so that the dependence on the technological innovation of electrical energy can be reduced. One of the technological innovations that have the potential to be developed is diffusion absorption refrigeration machine. Diffusion absorption refrigeration machine is a cooling machine that utilizes heat energy as its main source. The thermal energy can be obtained from the hot sun, heat from industrial machinery and heat from the combustion engine. The heat energy will be inputted to the generator. The generator is likened to a compressor in the vapor compression cooling machine. The difference generator using the input of thermal energy while the compressor using electrical energy input. This experiment aims to analyze the performance of the diffusion absorption refrigeration machine so that the engine performance can be increased.

Experiments carried out by using a diffusion absorption refrigeration machine which is in the Department of Mechanical Engineering ITS which has been modified on the refrigerant use refrigerant mix between R407F and R22. R407F composition and R22 on the total mass of refrigerant that each 50%. The working fluid used is couples refrigerant-DMF (Dimethylformamida) with

a mass concentration of 60% - 40%. The heat source used to use thermal oil as a generator heater. Data collection was performed with three variations of thermal discharge of oil is : 6 liters / hour, 8 liters / hour and 10 liters / hour. While the thermal oil temperature was varied at 90⁰C, 110⁰C and 130⁰C. Variations were chosen in order to compare with previous research when using debit and temperature variations of the same thermal oil whether to result better performance or not.

Results obtained in the form of the value of the rate of heat transfer to the generator (Q_{gen}), the largest is 235.42 watts, the mass flow rate refrigerant (m_{ref}) of the total of 0.00074 kg/s, the heat removed condenser (Q_{cond}) of the total of 142, 99 watt, heat absorbed by the evaporator (Q_{evap}) of the total of 142.01 watts generator efficiency (η_{gen}) and the largest is 0.24 Coefficient of Performance (COP) of the total of 0.60 wholly obtained at the time of thermal oil temperature of 130⁰C and discharge 6 liters / hour.

Keyword : *Difusi Absorpsi, Heater Generator, R407F, R22, DMF*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke khadirat Allah SWT atas segala rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Temperatur dan Debit *Thermal Oil* Sebagai *Heater Generator* Terhadap Performansi Mesin Pendingin Difusi Absorpsi R407F, R22 - DMF” tepat pada waktunya. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk meraih gelar sarjana strata 1 jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, dukungan serta dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ary Bachtiar K.P.,S.T.,M.T.,Ph.D selaku dosen pembimbing dan dosen wali, yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan ide, arahan, bimbingan dan motivasi selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng, Dr. Bambang Arip Dwiyanoro, S.T.,M.Eng, Ir. Kadarisman selaku dosen penguji atas semua masukan dan arahan demi kesempurnaan tugas akhir ini.
3. Orangtua tercinta Bapak Ruskendar dan Ibu Mimin Sartikawati atas semua doa, perhatian dan dukungan baik moril maupun materil yang telah diberikan.
4. Segenap Bapak/Ibu Dosen Pengajar dan Karyawan di Jurusan S1 Teknik Mesin ITS 2013-2015, yang telah banyak memberikan ilmu serta bantuan selama menjalani kuliah.
5. Teman dan saudara sekontrakan bandung : Andi, Handi, Armi, Galih, Adip, Wisnu atas semua ide, bantuan, dukungan serta motivasi selama tinggal bersama di Surabaya.

6. Keluarga besar Lab. Pendingin Teknik Mesin FTI-ITS: Pak Minto, Mas Erdin, partner Tugas Akhir Mas Irul serta Ilman, Ferdy, Wahyu, Rey, Hairun terima kasih atas kerjasama, bantuan, ide dan saran yang telah diberikan sehingga tugas akhir ini bisa terselesaikan dengan baik.
7. Seluruh teman-teman seperjuangan ITS LJ Mesin 2013 dan UNAIR AJ FKM UA 2015 yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu, terimakasih untuk semua bantuan serta dukungan selama menjalani masa perkuliahan bersama juga untuk semua tawa serta canda yang selalu membuat masa perkuliahan lebih berwarna.
8. Terkasih kepada Adila Rahana atas semua doa dan dukungan yang telah diberikan selama ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang dapat mengembangkan Tugas Akhir ini menjadi lebih baik. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya.

Surabaya, 26 Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------|
| HALAMAN JUDUL INDONESIA..... | i |
| HALAMAN JUDUL INGGRIS..... | ii |
| LEMBAR PENGESAHAN..... | iii |
| ABSTRAK..... | iv |
| ABSTRACT..... | vi |
| KATA PENGANTAR..... | viii |
| DAFTAR ISI..... | x |
| DAFTAR GAMBAR..... | xiv |
| DAFTAR TABEL..... | xviii |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Tujuan Penulisan..... | 2 |
| 1.4 Batasan Masalah..... | 2 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 3 |
| BAB II DASAR TEORI..... | 4 |
| 2.1 Refrigerasi Absorpsi..... | 4 |
| 2.1.1 Refrigerasi Difusi Absorpsi (Diffusion Absorption Refrigeration)..... | 7 |
| 2.2 Karakteristik Pasangan Refrijeran – Absorben..... | 9 |
| 2.2.1 Perbandingan Refrijeran R407F dan R22..... | 11 |
| 2.3 Perhitungan Parameter Sistem Difusi Absorpsi..... | 13 |
| 2.3.1 Fraksi Massa Larutan Refrijeran dan DMF..... | 13 |
| 2.3.2 Entalpi Campuran Refrijeran dan DMF..... | 15 |
| 2.3.3 Tekanan Parsial Refrijeran di Dalam Campuran..... | 18 |
| 2.4 Performa Pada Mesin Difusi Absorpsi..... | 19 |
| 2.4.1 Laju Aliran Massa Refrijeran (\dot{m}_{ref})..... | 19 |
| 2.4.2 Kapasitas Pendinginan (Q_{evap})..... | 20 |
| 2.4.3 Kalor yang Diserap Generator (Q_{gen}) dan Laju Aliran Massa Larutan di <i>Generator</i> | 22 |
| 2.4.4 Massa Total Refrijeran – DMF..... | 24 |
| 2.4.5 Efisiensi generator (Π_{gen})..... | 24 |
| 2.4.5 COP (coefficient of performance)..... | 24 |

| | |
|---|----|
| 2.5 Penelitian Terdahulu..... | 25 |
| 2.5.1 Wilson A. D. Ambesa (2011) - Analisa Termodinamis Performansi Mesin Pendingin Sistem Difusi Absorpsi Amonia-Air Dengan Variasi Panas Generator..... | 25 |
| 2.5.2 A. Zohar, dkk (2005) – The Influence of Diffusion Absorption Refrigeration Cycle Configuration on The Performance..... | 26 |
| 2.5.3 Angga Panca Adiarto (2013) – Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Debit Fluida Engine Oil Sebagai Heater Generator Terhadap Performansi Mesin Pendingin Difusi Absorpsi R22- DMF..... | 27 |
| 2.5.4 Mohamad Riva'I (2013) - Studi Eksperimen Mesin Pendingin Difusi Absorpsi R-22–DMF Variasi Heater Generator..... | 28 |
| 2.5.5 Denis Aryanto (2015) – Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Temperatur dan Debit <i>Thermal Oil</i> Sebagai <i>Heater Generator</i> Terhadap Performansi Mesin Pendingin Difusi Absorpsi R22- DMF..... | 29 |
| BAB III METEDOLOGI..... | 31 |
| 3.1 Proses Penelitian..... | 31 |
| 3.2 Sistematika Penelitian..... | 31 |
| 3.3 Skema dan Peralatan Penunjang Pengujian..... | 32 |
| 3.3.1 Gambar Sistem Mesin Pendingin Absorpsi..... | 32 |
| 3.3.2 Parameter yang Diukur..... | 34 |
| 3.3.3 Alat Ukur yang Digunakan..... | 36 |
| 3.3.4 Peralatan Untuk Pengisian Refrijeran-DMF dan Hidrogen..... | 37 |
| 3.3.5 Peralatan <i>Safety</i> | 37 |
| 3.4 Prosedur Pengisian Refrijeran-DMF-Gas Hidrogen..... | 38 |
| 3.5 Prosedur Pengambilan Data..... | 41 |
| BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISA DATA..... | 44 |
| 4.1 Data Hasil Eksperimen..... | 44 |

| | | |
|--------|---|----|
| 4.2 | Perhitungan Data..... | 44 |
| 4.2.1 | Nilai Konsentrasi <i>Weak Solution</i> | 45 |
| 4.2.2 | Nilai <i>Enthalpy</i> di Setiap Titik Pengamatan..... | 46 |
| 4.2.3 | Perhitungan Tekanan Parsial Refrijeran Pada Evaporator..... | 49 |
| 4.2.4 | Perhitungan Laju Aliran Massa Refrijeran..... | 50 |
| 4.2.5 | Perhitungan Kapasitas Pendinginan..... | 51 |
| 4.2.6 | Perhitungan Kalor yang Diserap Generator..... | 51 |
| 4.2.7 | Perhitungan Efisiensi <i>Generator</i> | 51 |
| 4.2.8 | Perhitungan COP..... | 51 |
| 4.3 | Pembahasan Grafik..... | 52 |
| 4.3.1 | Grafik m Refrijeran Fungsi Temperatur <i>Inlet</i> <i>Generator</i> | 52 |
| 4.3.2 | Grafik m Refrijeran Fungsi Debit <i>Thermal Oil</i> | 53 |
| 4.3.3 | Grafik ΔT <i>Oil</i> Fungsi Debit <i>Thermal Oil</i> | 55 |
| 4.3.4 | Grafik m Refrijeran Fungsi Temperatur <i>Inlet</i> <i>Generator</i> | 56 |
| 4.3.5 | Grafik \dot{Q} <i>Oil</i> Fungsi Temperatur <i>Inlet Generator</i> | 57 |
| 4.3.6 | Grafik \dot{Q} <i>Oil</i> Fungsi Debit <i>Thermal Oil</i> | 59 |
| 4.3.7 | Grafik \dot{Q} <i>Oil</i> Fungsi Temperatur <i>Inlet Generator</i> | 60 |
| 4.3.8 | Grafik \dot{Q} <i>Evaporator</i> Fungsi Temperatur <i>Inlet</i> <i>Generator</i> | 61 |
| 4.3.9 | Grafik \dot{Q} <i>Evaporator</i> Fungsi Debit <i>Thermal Oil</i> | 63 |
| 4.3.10 | Grafik \dot{Q} <i>Evaporator</i> Fungsi Temperatur <i>Inlet</i> <i>Generator</i> | 64 |
| 4.3.11 | Grafik \dot{Q} Kondensor Fungsi Temperatur <i>Inlet</i> <i>Generator</i> | 65 |
| 4.3.12 | Grafik \dot{Q} Kondensor Fungsi Debit <i>Thermal Oil</i> | 67 |
| 4.3.13 | Grafik \dot{Q} Kondensor Fungsi Temperatur <i>Inlet</i> <i>Generator</i> | 68 |
| 4.3.14 | Grafik Efisiensi <i>Generator</i> Fungsi Temperatur <i>Inlet</i> <i>Generator</i> | 70 |
| 4.3.15 | Grafik Efisiensi <i>Generator</i> Fungsi Debit <i>Thermal</i> <i>Oil</i> | 71 |

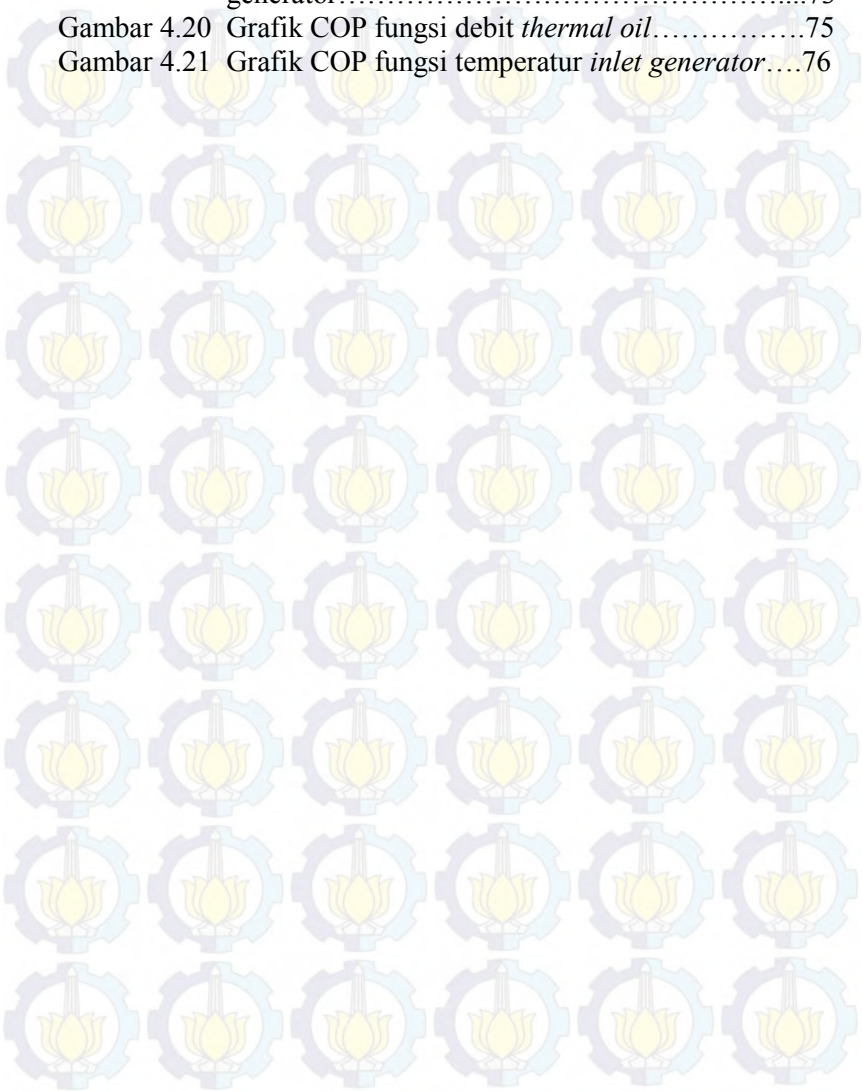
| | |
|--|----|
| 4.3.16 Grafik Efisiensi <i>Generator</i> Fungsi Temperatur <i>Inlet Generator</i> | 72 |
| 4.3.17 Grafik COP Fungsi Temperatur <i>Inlet</i> <i>Generator</i> | 73 |
| 4.3.18 Grafik COP Fungsi Debit <i>Thermal Oil</i> | 75 |
| 4.3.19 Grafik COP Fungsi Temperatur <i>Inlet</i> <i>Generator</i> | 76 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... | 78 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 78 |
| 5.2 Saran..... | 79 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 80 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 2.1 | Siklus Kompresi Uap Ideal | 4 |
| Gambar 2.2 | Siklus Refrijerasi Absopsi | 5 |
| Gambar 2.3 | Skema Mesin Pendingin Difusi Absorpsi | 7 |
| Gambar 2.4 | Skema Alir <i>Thermal Oil</i> Mesin Pendingin Difusi Absorpsi | 9 |
| Gambar 2.5 | Dampak lingkungan oleh R22..... | 12 |
| Gambar 2.6 | Dampak lingkungan oleh R407F..... | 13 |
| Gambar 2.7 | Diagram P-T-X Campuran R22-DMF..... | 15 |
| Gambar 2.8 | Penampang Kondenser dan Laju Aliran Massa Refrijeran..... | 19 |
| Gambar 2.9 | <i>Control volume evaporator tipe dobular tube</i> | 21 |
| Gambar 2.10 | <i>Control volume pada Generator</i> | 22 |
| Gambar 2.11 | Grafik pengaruh daya input generator terhadap COP..... | 25 |
| Gambar 2.12 | (a) Skema sistem DAR 1 (b) Skema sistem DAR 2 (<i>A. Zohar, dkk, 2005</i>)..... | 26 |
| Gambar 2.13 | Grafik COP fungsi T inlet generator (<i>Angga Panca, 2013</i>)..... | 27 |
| Gambar 2.14 | (a) <i>Generator</i> sebelum dimodifikasi (b) <i>Generator</i> sesudah dimodifikasi (<i>Riva'I, 2013</i>)..... | 29 |
| Gambar 2.15 | Grafik COP fungsi debit <i>Thermal oil</i> (<i>Denis Aryanto, 2015</i>)..... | 30 |
| Gambar 3.1 | <i>Flowchart</i> sistematika penelitian..... | 31 |
| Gambar 3.2 | Skema mesin pendingin difusi absopsi..... | 32 |
| Gambar 3.3 | Titik Pengukuran Pada Mesin Difusi Absorpsi.... | 34 |
| Gambar 3.4 | Titik Pengukuran Pada Aliran <i>Thermal Oil</i> | 35 |
| Gambar 3.5 | Titik Pengukuran Temperatur Udara di Kondensor..... | 35 |
| Gambar 3.6 | <i>Flowchart</i> Pengisian Refrijeran – DMF – Gas Hidrogen..... | 38 |
| Gambar 3.7 | <i>Flowchart</i> Pengambilan data..... | 41 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 4.1 | Diagram P-T-X untuk mencari konsentrasi <i>weak solution</i> . (Agarwal, 1982)..... | 46 |
| Gambar 4.2 | Grafik laju aliran massa refrijeran fungsi temperatur <i>inlet generator</i> | 52 |
| Gambar 4.3 | Grafik laju aliran massa refrijeran fungsi debit <i>thermal oil</i> | 53 |
| Gambar 4.4 | Hubungan NTU dan <i>effectiveness</i> | 54 |
| Gambar 4.5 | Grafik ΔT <i>oil</i> fungsi debit <i>thermal oil</i> | 55 |
| Gambar 4.6 | Grafik laju aliran massa refrijeran fungsi temperatur <i>inlet generator</i> | 56 |
| Gambar 4.7 | Grafik laju perpindahan panas <i>oil</i> pada <i>generator</i> fungsi temperatur <i>inlet generator</i> | 57 |
| Gambar 4.8 | Grafik laju perpindahan panas <i>oil</i> pada <i>generator</i> fungsi debit <i>thermal oil</i> | 59 |
| Gambar 4.9 | Grafik laju perpindahan panas <i>generator</i> fungsi temperatur <i>inlet generator</i> | 60 |
| Gambar 4.10 | Grafik laju perpindahan panas <i>evaporator</i> fungsi temperatur <i>inlet generator</i> | 61 |
| Gambar 4.11 | Grafik laju perpindahan panas evaporator fungsi debit <i>thermal oil</i> | 63 |
| Gambar 4.12 | Grafik laju perpindahan panas <i>evaporator</i> fungsi temperatur <i>inlet generator</i> | 64 |
| Gambar 4.13 | Grafik laju perpindahan panas kondensor fungsi temperatur <i>inlet generator</i> | 65 |
| Gambar 4.14 | Grafik laju perpindahan panas kondensor fungsi debit <i>thermal oil</i> | 67 |
| Gambar 4.15 | Grafik laju perpindahan panas kondensor fungsi temperatur <i>inlet generator</i> | 68 |
| Gambar 4.16 | Grafik efisiensi <i>generator</i> fungsi temperatur <i>inlet generator</i> | 70 |
| Gambar 4.17 | Grafik efisiensi <i>generator</i> fungsi debit <i>thermal oil</i> | 71 |
| Gambar 4.18 | Grafik efisiensi <i>generator</i> fungsi temperatur <i>inlet generator</i> | 72 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.19 Grafik COP fungsi temperatur inlet generator..... | 73 |
| Gambar 4.20 Grafik COP fungsi debit <i>thermal oil</i> | 75 |
| Gambar 4.21 Grafik COP fungsi temperatur <i>inlet generator</i> | 76 |



DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 <i>Physical Properties</i> R407F– R22 – DMF..... | 11 |
| Tabel 2.2 Perbandingan R22 dan R407F..... | 12 |
| Tabel 2.3 Koefisien panas campuran..... | 16 |
| Tabel 2.4 Koefisien hubungan P-T-X pada campuran Refrijeran-DMF..... | 17 |
| Tabel 2.5 Koefisien untuk Entalpi Cair Jenuh pada DMF..... | 17 |
| Tabel 2.6 Koefisien untuk entalpi cair jenuh dan uap jenuh pada refrijeran..... | 18 |



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pemanfaatan energi terbarukan untuk saat ini sedang sangat giat digalakan. Dikarenakan hampir seluruh aktivitas manusia membutuhkan energi. Namun penggunaan energi saat ini sangat bergantung pada energi terdahulu. Sedangkan cadangan energi terdahulu jika terpakai terus menerus akan mengalami kekurangan. Jika dibiarkan krisis energi di masa depan akan semakin dekat apalagi banyak energi yang masih belum bisa digantikan sepenuhnya oleh energi alternatif. Salah satu cadangan energi yang berpotensi untuk dimanfaatkan yaitu energi panas. Energi panas sangat banyak di sekitar kita bahkan banyak juga yang terbuang percuma. Energi panas dapat diperoleh dari kolektor surya, biomass, limbah, boiler dan lain – lain.

Salah satu inovasi yang memanfaatkan energi panas sebagai sumber utamanya yaitu *Diffusion Absorption Refrigeration System (DAR)* atau sistem refrijerasi difusi absopsi. Sistem ini ditemukan pada tahun 1922 oleh mahasiswa dari *Royal Institute of Technology* di Swedia. Energi panas digunakan untuk menjalankan suatu sistem pendingin ini. Energi panas bisa diperoleh dari energi panas yang tidak terpakai atau sumber energi panas yang sudah ada. Energi panas yang tidak terpakai bisa didapatkan di pabrik atau industri, alat transportasi dan sebagainya. Sedangkan pemanfaatan energi yang sudah ada seperti pada energi panas yang dihasilkan oleh matahari, panas bumi dan lain sebagainya. Pada siklus mesin pendingin difusi absorpsi tidak terdapat kompresor sebagai mana mesin kompresi uap. Tetapi fungsi dari kompresor tersebut digantikan oleh *generator* yang diberikan input berupa energi panas. Ketika *generator* diberi input panas akan terjadi perbedaan titik didih antara pasangan refrijeran-absorben mengakibatkan refrijeran akan lebih cepat menguap sehingga refrijeran akan menuju kondensor. Sementara

itu untuk menurunkan tekanannya menggunakan gas hidrogen sebagai gas inert.

Pada penelitian ini penulis mencoba memodifikasi jenis fluida yang digunakan, yang pada awalnya menggunakan jenis refrijeran R22 diganti dengan campuran refrijeran R407F dan R22. Mesin yang digunakan yaitu mesin pendingin difusi absorpsi di jurusan Teknik Mesin ITS. Sumber panas *generator* menggunakan *heat transfer oil* yang dipanaskan dengan *electric heater*. Pengamatan akan difokuskan terhadap pengaruh variasi temperatur *heat transfer oil* terhadap performa mesin pendinginan difusi absorpsi. Diharapkan mesin dapat beroperasi lebih ramah lingkungan serta performa yang lebih baik dari sebelumnya.

1.2 Perumusan Masalah

Terdapat beberapa rumusan masalah yang akan dibahas pada perumusan masalah ini, antara lain :

1. Bagaimana performa maksimal dari mesin difusi absorpsi.
2. Bagaimana pengaruh temperatur thermal oil dan debit thermal oil pada generator terhadap performa mesin pendingin difusi absorpsi.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui performa maksimal dari mesin difusi absorpsi.
2. Mengetahui pengaruh temperatur thermal oil pada generator terhadap performa mesin pendingin difusi absorpsi.
3. Mengetahui pengaruh debit thermal oil pada generator terhadap performa mesin pendingin difusi absorpsi.

1.4 Batasan Masalah

Agar bahasan yang dilakukan pada penelitian ini tidak melenceng dari tujuan yang ada, maka digunakan batasan masalah sebagai berikut :

1. Pasangan refrijeran–absorben yang digunakan adalah R407F, R22 – DMF (Dimetilformamida) dan gas hidrogen sebagai gas inert

2. Komposisi refrijeran yaitu 50% R407F dan 50% R22.
3. Properties yang digunakan dalam perhitungan adalah properties R22.
4. Tidak memperhitungkan rugi – rugi yang terjadi sepanjang pipa.
5. Fluida gas hidrogen diperlakukan sebagai gas inert.
6. Analisa dan pengukuran dilakukan pada saat steady state.
7. Analisa siklus yang digambarkan adalah siklus DAR 1.
8. Tidak menganalisa perubahan yang terjadi pada fluida absorben dan refrijeran secara kimia.

1.5 Manfaat Penelitian

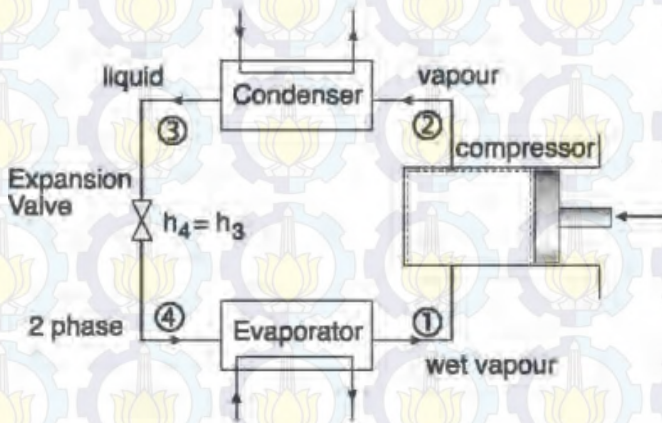
Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemecahan masalah mengenai ketergantungan kita terhadap penggunaan energi listrik dan menjadi sebagai salah satu solusi untuk pemanfaatan energi terbarukan khususnya dalam sistem pendinginan. Selain itu juga diharapkan penelitian ini akan berguna bagi pihak – pihak yang berkeinginan melakukan inovasi lanjutan pada sistem pendingin difusi absorpsi.

BAB II

DASAR TEORI

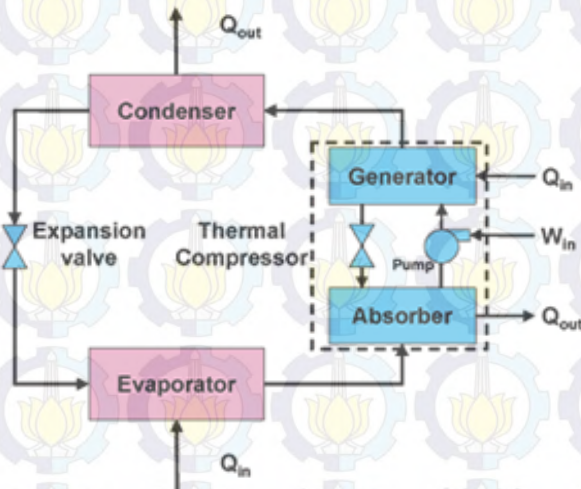
2.1 Refrigerasi Absorpsi

Sistem kompresi uap menggunakan energi listrik sebagai sumber utama. Energi listrik digunakan pada sistem kompresi uap untuk menggerakan kompresor. Penggunaan energi listrik yang besar bisa menyebabkan krisis energi listrik jika dilakukan secara terus menerus. Salah satu alternatif untuk mengurangi ketergantungan kita terhadap energi listrik adalah dengan memanfaatkan sistem refrigerasi absorpsi. Sistem refrigerasi absorpsi memanfaatkan energi *thermal* sebagai sumbernya. Perbedaan lainnya yaitu tidak terdapatnya komponen kompresor seperti pada sistem kompresi uap, namun fungsi kompresor digantikan oleh generator dan absorber. Kompresor pada sistem kompresi uap berfungsi mengkompresi refrigeran sehingga mempunyai tekanan tinggi. Sedangkan pada sistem difusi absorpsi fungsi kompresor seperti disebutkan diatas digantikan oleh generator dan absorber.



Gambar 2.1 Siklus Kompresi Uap Ideal (Angga Panca, 2013)

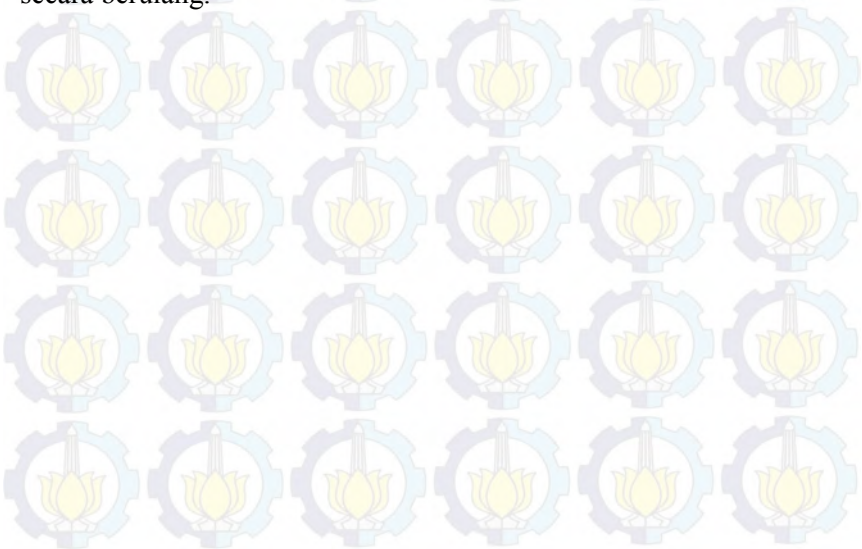
Pada sistem kompresi uap ideal terdapat empat komponen utama yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi dan *evaporator*. Siklus ini berawal dari kompresor yang berfungsi untuk mengkompresi uap refrigeran keluaran dari *evaporator*, sehingga tekanannya naik secara adiabatik dan reversible. Uap refrigeran setelah dikompresi kemudian memasuki kondensor. Kondensor berfungsi untuk melepaskan kalor ke lingkungan pada tekanan konstan, sehingga uap panas berubah fase menjadi cair jenuh. Selanjutnya refrigeran memasuki katup ekspansi. Katup ekspansi berfungsi untuk menurunkan tekanan refrigeran. Selanjutnya refrigeran memasuki evaporator. Evaporator berfungsi menyerap panas dari lingkungan pada tekanan konstan. Sehingga terjadi perubahan fasa refrigeran menjadi uap jenuh. Selanjutnya refrigeran kembali lagi ke kompresor untuk dikompresi kembali dan terjadilah siklus secara berulang – ulang.



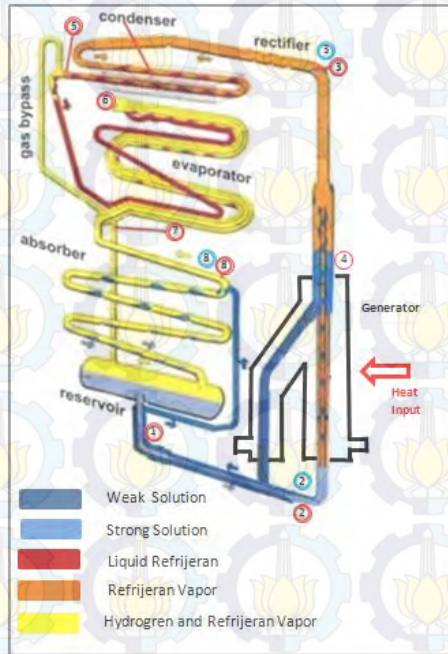
Gambar 2.2 Siklus refrijerasi absopsi (Angga Panca, 2013)

Pada sistem refrijerasi absorpsi terdapat beberapa komponen utama yaitu generator, kondensor, katup ekspansi,

evaporator dan absorber. Siklus ini berawal dari generator yang berisi campuran refrijeran dan absorben. Selanjutnya larutan campuran refrijeran absorben tersebut diberikan input berupa kalor. Input kalor tersebut menyebabkan refrijeran menguap dan menuju kondensor. Di kondensor terjadi proses kondensasi pada refrijeran. Akibat dari kondensasi, refrijeran akan berubah fasa dari gas menjadi cair. Kemudian refrijeran memasuki daerah katup ekspansi dimana terjadi penurunan tekanan pada refrijeran sehingga temperatur refrijeran pun ikut menurun. Selanjutnya refrijeran memasuki *evaporator*. *Evaporator* berfungsi untuk menyerap kalor dari lingkungan. Sehingga terjadi perubahan fasa refrijeran dari cair menjadi uap. Selanjutnya refrijeran bergerak menuju absorber. Pada absorber terdapat absorben yang berfungsi untuk menyerap refrijeran sehingga pada absorber terbentuk campuran antara refrigerant dan absorben. Kemudian campuran refrijeran absorben kembali lagi menuju generator untuk melakukan proses awal kembali dan akan terjadi terus menerus secara berulang.



2.1.1 Refrigerasi Difusi Absorpsi (Diffusion Absorption Refrigeration)



Gambar 2.3 Skema mesin pendingin difusi absorpsi

Pada percobaan kali ini, Refrijeran yang digunakan yaitu campuran refrijeran R407F dan R22. *Dimetilformamida* (DMF) digunakan sebagai absorben. Siklus ini bermula dari tangki penampung (*reservoir*) dimana terdapat larutan *strong solution*. Larutan *strong solution* ini berisikan refrijeran dan absorben DMF. Karena terdapat kesetimbangan level cairan antara *reservoir* dan generator maka larutan *strong solution* tersebut akan mengalir juga menuju generator. Di generator terjadi pemanasan larutan strong solution sehingga sebagian besar refrijeran menguap. Uap refrijeran yang terbentuk akan menekan larutan cair yang berada di dalam pipa *bubble pump*. Titik didih refrijeran

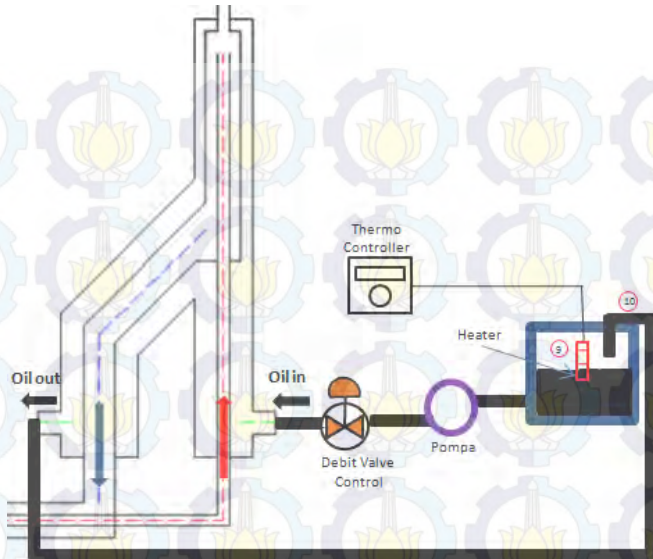
yang lebih rendah daripada absorben DMF sehingga refrijeran akan lebih cepat menguap dibandingkan absorben DMF.

Uap refrijeran yang menguap bergerak menuju *rectifier*. Rectifier ini berfungsi sebagai menyaring *absorben* pada refrijeran sehingga yang masuk menuju kondensor berupa refrijeran saja. Sementara larutan tidak menguap dialirkan kembali menuju *absorber*.

Selanjutnya uap refrijeran memasuki kondensor. Pada kondensor terjadi proses kondensasi yang menyebabkan refrijeran berubah fasa menjadi *saturated liquid*. Dikarenakan daerah kondensor dibuat miring menyebabkan refrijeran terdorong menuju inlet *evaporator*.

Pada inlet *evaporator*, refrijeran bertemu dengan gas hidrogen sebagai gas inert yang berfungsi untuk menurunkan tekanan parsial refrijeran. Akibat dari turunnya tekanan refrijeran, mengakibatkan refrijeran dapat menguap pada temperatur yang lebih rendah. Di daerah juga terdapat beban pendinginan yang menyebabkan refrijeran menerima kalor sehingga refrijeran cair mulai menguap. refrijeran terus menguap dan mengalir di dalam evaporator sehingga pada keluaran evaporator tekanan parsialnya sudah naik.

Massa jenis refrijeran jauh lebih besar dari hidrogen, karena itu uap campuran (refrijeran dan hidrogen) semakin berat. Seiring dengan terus menguapnya refrijeran cair sehingga uap campuran itu turun dan evaporator memasuki *reservoir*. Di dalam *reservoir* sebagian uap refrijeran terserap oleh DMF yang turun dari *absorber*. Hal ini mengakibatkan uap campuran refrijeran kembali menjadi lebih ringan dan mulai bergerak ke atas. Penyerapan refrijeran oleh DMF semakin banyak dan akhirnya hanya tinggal gas hidrogen dengan sedikit uap refrijeran yang keluar dari *absorber* dan terus bergerak keatas lagi menuju evaporator.



Gambar 2.4 Skema Aliran *Thermal Oil* Mesin Pendingin Difusi Absorpsi

Pada gambar 2.4 menunjukkan skema aliran *thermal oil* mesin difusi absorpsi dimana oli yang berada di tangki *thermal oil* dipanaskan terlebih dahulu menggunakan *heater electric* sampai temperature oli yang diinginkan. Kemudian oli di alirkan oleh pompa menuju generator, sehingga oli yang bertemperatur tinggi tersebut memanaskan generator. Oli kemudian kembali lagi menuju tangki *thermal oil* yang selanjutnya akan disirkulasikan kembali.

2.2 Karakteristik Pasangan Refrijeran - Absorben

Terdapat beberapa kriteria campuran antara refrijeran dan absorben dalam penggunaan mesin difusi absorpsi, antara lain :

1. Perbedaan titik didih antara refrijeran dan larutan absorben pada tekanan yang sama haruslah sebesar mungkin.

2. Baik refrijeran dan absorben nya harus bersifat non korosif dan ramah lingkungan
3. Keduanya harus aman dan stabil secara kimia pada temperatur pengoperasian sistem.
4. Keduanya harus dapat terlarut dengan mudah pada segala kondisi proses.
5. Tekanan kerja keduanya harus cukup rendah dan sedekat mungkin dengan tekanan atmosfer.
6. *Latent heat* dari refrijeran harus setinggi mungkin.

Pasangan refrijeran yang digunakan untuk penelitian ini yaitu R407F,R22-DMF. Kedua refrijeran baik R407 dan R22 memiliki sifat yang baik sebagai refrijeran, tidak beracun, tidak berbau, tidak menyebabkan korosif. Namun R407F memiliki keunggulan ramah terhadap lingkungan sehingga tidak merusak lapisan ozon bumi.

Dimethylformamide (DMF) adalah senyawa organik dengan rumus molekul C_3H_7NO . DMF merupakan cairan yang dapat bercampur dengan air dan sebagian besar zat cair organik lainnya. DMF tergolong zat *flammable* namun memiliki titik didih tinggi yang sering digunakan sebagai pelarut dalam reaksi kimia.

Pada penelitian ini DMF dipilih sebagai absorben karena memiliki daya larut tinggi. Selain itu titik didih tinggi yang dimiliki DMF juga menguntungkan karena memperkecil potensi DMF ikut menguap ketika diberi panas di dalam *generator*. Berikut ini *physical properties* dari R407F dan DMF.

Tabel 2.1 *Physical properties* R407F-R22-DMF
(www.linde-gas.com)

| <i>Properties</i> | R407F | R22 | DMF |
|-------------------------------|--------------------------------|----------------------|----------------------------------|
| <i>Molecular Formula</i> | CH ₂ F ₂ | CHClF ₂ | C ₃ H ₇ NO |
| <i>Molar Mass</i> | 82.1 g/mol | 86.47 g/mol | 73.09 g/mol |
| <i>Boiling Point (@ 1atm)</i> | -45.0 ⁰ C | -40.7 ⁰ C | 153 °C |
| <i>Critical Temperature</i> | 82.7 °C | 96.2 ⁰ C | 374 ⁰ K |
| <i>Critical Pressure</i> | 49.9 bar | 49.36 bar | 44.2 bar |

2.2.1 Perbandingan Refrijeran R407F dan R22

Selama lebih dari dua puluh tahun, R22 telah sangat umum digunakan sebagai gas pendingin dalam beberapa aplikasi. Seperti sebagian besar sistem pendingin yang sering digunakan di kehidupan sehari – hari. Di Indonesia, R22 umum digunakan pada split air conditioner. Seperti semua HCFC (*Hydrogen, Chlorine, Fluorine, Carbon*), R22 telah terbukti merusak lapisan ozon dan telah mulai dilarang di negara – negara Eropa karena sifat pencemarannya dan banyak alat pendingin yang dialihkan ke refrijeran HFC (*Hydrogen, Fluorine, Carbon*).

HFC tidak mengandung klorine seperti pada refrijeran kebanyakan. HFC mengandung hydrogen, fluorin dan karbon sebagai unsure penyusun utamanya sehingga lebih ramah lingkungan dan tidak merusak ozon. HFC kini mulai dipopulerkan dan banyak dipakai pada alat pendingin. Contoh refrijeran HFC : R-407F, R404a dan lain – lain.

Tabel 2.2 Perbandingan R22 dan R407F (www.linde-gas.com)

| | R22 | R404A | R407F |
|---------------------------------|---|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Constituents | R22 | R143a/R125/ R134a | R134a/R125/R32 |
| Preferred oil | Mineral (MO) or Alkylbenzene (AB) | Polyolester (POE) | Polyolester (POE) |
| ASHRAE safety classification | A1 – non-toxic & non-flammable | A1 – non-toxic & non-flammable | A1 – non-toxic & non-flammable |
| Boiling point @ 1atm | -41.0°C | -46.5°C | -45.5°C |
| Critical temperature | 96.0°C | 72.0°C | 82.7°C |
| Critical pressure | 49.9 bar(a) | 37.3 bar(a) | 47.5 bar(a) |
| ODP | 0.055 | 0 | 0 |
| GWP | 1810 | 3922 | 1824 |

Environmental Impact

Ozone Depletion Potential (ODP) 0.055

Ozone Depletion Potential (Rating)

Global Warming Potential (GWP) 1810

Global Warming Potential (Rating)

Gambar 2.5 Dampak Lingkungan oleh R22 (www.linde-gas.com)

Environmental Impact



| | |
|------------------------------------|------|
| Ozone Depletion Potential (ODP) | 0 |
| Ozone Depletion Potential (Rating) | 0 |
| Global Warming Potential (GWP) | 1825 |
| Global Warming Potential (Rating) | 2 |

Gambar 2.6 Dampak Lingkungan oleh R407F
(www.linde-gas.com)

R407F dikembangkan oleh Honeywell dan merupakan retrofit bagi R22 dan R404A dengan menggunakan sistem yang ada. Perbandingan R407F dan R22 dapat terlihat pada gambar diatas. R407F memiliki kelebihan dalam hal ODP (Ozone Depletion) yang lebih baik dari R22. Nilai ODP dari R407F yaitu 0 dan memiliki rating 0, sedangkan ODP R22 yaitu 0.055 sehingga rating ODP R22 yaitu medium. Seperti ditunjukkan pada gambar 2.5 dan gambar 2.6.

2.3 Perhitungan Parameter Sistem Difusi Absorpsi

2.3.1 Fraksi Massa Larutan Refrijeran dan DMF

Konsentrasi larutan pada pasangan refrijeran-DMF dinyatakan dalam fraksi massa (X) dan fraksi mol (y). Istilah fraksi massa dan fraksi mol didefinisikan untuk refrijeran. Sehingga apabila larutan refrijeran-DMF mempunyai konsentrasi massa 60%, berarti terdapat refrijeran sebanyak 60% dari keseluruhan massa larutan.

Fraksi massa dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$X = \frac{m_{Ref}}{m_{Ref} + m_{DMF}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

m_{Ref} = massa R_{407F} + massa R_{22}

m_{DMF} = massa DMF

Dan fraksi mol larutan refrijeran-DMF didefinisikan sebagai berikut :

$$X = \frac{n_{Ref}}{n_{Ref} + n_{DMF}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

n_{Ref} = jumlah mol refrijeran dalam larutan

n_{DMF} = jumlah mol DMF dalam larutan

Jumlah mol refrijeran maupun DMF dapat diperoleh dengan cara membagi massa masing – masing terhadap berat molekulnya (Mr), sehingga :

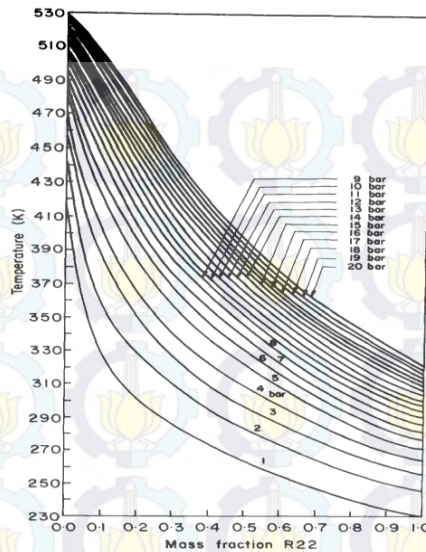
$$n_{Ref} = \frac{m_{Ref}}{Mr_{Ref}} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$n_{DMF} = \frac{m_{DMF}}{Mr_{DMF}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

Mr_{Ref} = berat molekul refijeran

Mr_{DMF} = berat molekul DMF



Gambar 2.7 Diagram P-T-X campuran R22-DMF
 [Agarwal (1982), *Solubility Characteristics of R22-DMF
 Refrigerant-Absorbent Combination*]

Pada mesin pendingin difusi absorpsi ini terdapat campuran refrijeran – DMF yang disebut dengan larutan kaya (strong solution) dan larutan miskin (weak solution). Dimana untuk mencari fraksi massa di *weak solution* dapat menggunakan diagram pada gambar 2.7 dengan menarik garis tekanan total pada sistem dan nilai temperatur yang ada di titik pengukuran.

2.3.2 Entalpi Campuran Refrijeran dan DMF

Thermodynamic properties dari larutan dapat didekati dengan persamaan numerik yang dibangun oleh Fattouh dkk (1993). Dengan memasukkan data-data yang didapat dalam pengujian ke dalam persamaan-persamaan yang ada, maka dapat diketahui besarnya *enthalpy* dari larutan dan besarnya *properties* lainnya.

Besarnya *enthalpy* larutan *strong solution* dan *weak solution* dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$h(T, X) = h_{sl,r}X + h_{sl,a}[1 - X] + h_{mix} \dots\dots\dots(2.5)$$

dimana :

- ❖ $h(T, X)$: entalpi fungsi dari temperatur dan konsentrasi refrijeran (kJ/kg)
- ❖ $h_{sl,r}$: entalpi *saturated liquid* refrijeran (kJ/kg)
- ❖ $h_{sl,a}$: entalpi *saturated liquid* absorben (kJ/kg)
- ❖ h_{mix} : entalpi campuran refrijeran-absorben (kJ/kg)

Besarnya h_{mix} merupakan fungsi dari temperatur dan konsentrasi larutan yang memiliki hubungan sebagai berikut.

$$h_{mix}(T, X) = \left(\frac{((1-X)RT^2)}{M_{mix}} \right) (K_0 Y_0 + K_1 Y_1 + K_2 Y_2 + K_3 Y_3) \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

$$Y_0 = \frac{X}{(1-X)}$$

$$Y_1 = \frac{X}{(1-X)} + \ln(1-X)$$

$$Y_2 = \frac{X}{(1-X)} - (1-X) + 2\ln(1-X)$$

$$Y_3 = \frac{X}{(1-X)} + \frac{X^2}{2} + 2X + 3\ln(1-X)$$

Untuk harga K_0 , K_1 , K_2 , dan K_3 adalah fungsi dari temperatur yang dapat diperoleh dari perhitungan pada **Tabel 2.3**

Tabel 2.3 Koefisien panas campuran

| Pair | K_0 | K_1 | K_2 | K_3 |
|------------|--|--|--|------------------------------|
| R22-DMF | $B_0/T^2 + 2 \cdot C_0/T^3 - E_1/T^2 + E_2 + E_3/T$ | $B_1/T^2 + 2 \cdot C_1/T^3$ | $B_2/T^3 + 2 \cdot C_2/T^3$ | 0.0 |
| R22-DMETEG | $-B_0 - 2 \cdot C_0/T - E_1/T^2 + E_2 + E_3/T$ | $-B_1 - 2 \cdot C_1/T$ | $-B_2 - 2 \cdot C_2/T$ | $-B_3 - 2 \cdot C_3 \cdot T$ |
| R22-NMP | $-B_0 + 0.0 - E_1/T^2 + E_2 + E_3/T$ | $-B_1 - 3 \cdot C_1 \cdot T^2$ | $-B_2 - 3 \cdot C_2 \cdot T^2$ | $-3 \cdot C_3 \cdot T^2$ |
| R22-DTRG | $-D_1/T - 2 \cdot B_0 \cdot T - E_1/T^2 + E_2 + E_3/T$ | $-D_1/T - 2 \cdot B_1 \cdot T$ | $-D_2/T - 2 \cdot B_2 \cdot T$ | 0.0 |
| R22-DMA | $-2 \cdot B_0 \cdot T + 0.0 - E_1/T^2 + E_2 + E_3/T$ | $-2 \cdot B_1 \cdot T - 3 \cdot C_1 \cdot T^2$ | $-2 \cdot B_2 \cdot T - 3 \cdot C_2 \cdot T^2$ | $-3 \cdot C_3 \cdot T^2$ |
| R22-DMEDEG | $B_0/T^2 - D_0/T - E_1/T^2 + E_2 + E_3/T$ | $+B_1/T^2 - D_1/T$ | $+B_2/T^2 - D_2/T$ | $B_3/T^2 - D_3/T$ |

Dimana :

$$E_0 = 0.20972706E + 03$$

$$E_1 = -0.77382052E + 04$$

$$E_2 = 0.05627680E + 00$$

$$E_3 = -0.34790000E + 02$$

Untuk nilai koefisien B_0 , C_0 , C_1 , dan C_2 dapat dilihat pada **Tabel 2.4**

Tabel 2.4 Koefisien hubungan P-T-X pada campuran Refrijeran-DMF

| Coeff. | R22-DMF | R22-DMETEG | R22-DMEDEG | R22-NMP | R22-DMETrEG | R22-DMA |
|--------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| A_0 | 0.6513005E + 01 | -0.3055194E + 02 | 0.5266711E + 02 | -0.1134345E + 02 | -0.8043237E + 02 | -0.5504224E + 01 |
| A_1 | 0.1167437E + 02 | 0.1715593E + 02 | 0.6595212E + 00 | -0.2568081E + 02 | 0.0 | -0.2609962E + 01 |
| A_2 | 0.1747752E + 02 | 0.3453330E + 01 | -0.3899815E + 01 | 0.3154106E + 02 | 0.0 | -0.5839617E + 00 |
| A_3 | 0.0 | -0.2260165E + 01 | -0.1135981E + 02 | 0.0 | 0.2615907E + 02 | 0.0 |
| A_4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.1059630E + 02 | 0.0 |
| B_0 | -0.1817206E + 04 | 0.1548290E + 00 | -0.5202060E + 04 | 0.3327715E - 01 | -0.2073306E - 04 | 0.4065837E - 04 |
| B_1 | -0.4302679E + 04 | -0.5501963E - 01 | -0.7389477E + 03 | 0.1577226E + 00 | -0.2784090E - 04 | 0.2545399E - 03 |
| B_2 | 0.9877574E + 04 | -0.3732812E - 01 | 0.5617743E + 04 | -0.1628128E + 00 | 0.2402536E - 04 | -0.1145294E - 04 |
| B_3 | 0.0 | 0.7183949E - 02 | -0.3411698E + 04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| C_0 | -0.1355858E + 06 | -0.1901107E - 03 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| C_1 | 0.6257979E + 06 | 0.7257965E - 04 | 0.0 | -0.5826726E - 06 | 0.0 | -0.4953675E - 06 |
| C_2 | -0.1435546E + 07 | 0.2816656E - 04 | 0.0 | 0.5810610E - 06 | 0.0 | -0.4426027E - 07 |
| C_3 | 0.0 | 0.1405272E - 04 | 0.0 | -0.1845199E - 07 | 0.0 | 0.8322973E - 08 |
| D_0 | 0.0 | 0.0 | -0.6485405E + 01 | 0.0 | 0.1407847E + 02 | 0.0 |
| D_1 | 0.0 | 0.0 | 0.1764033E + 01 | 0.0 | 0.2947679E + 01 | 0.0 |
| D_2 | 0.0 | 0.0 | -0.3557847E + 01 | 0.0 | -0.4842923E + 01 | 0.0 |
| D_3 | 0.0 | 0.0 | 0.4241893E + 01 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| a | -1.0 | 1.0 | -1.0 | 1.0 | 2.0 | 2.0 |
| b | -2.0 | 2.0 | 0.0 | 3.0 | 0.0 | 3.0 |
| TR | 310:394 | 273:363 | 273:373 | 273:373 | 283:393 | 293:373 |
| XR | 0.2:0.7 | 0.2:1.0 | 0.14:0.85 | 0.2:1.0 | 0.2:1.0 | 0.2:0.88 |
| PR | 0.0:20.0 | 0.0:46.0 | 0.0:50.0 | 0.0:25.0 | 0.0:25.0 | 0.0:18.0 |
| CC | 0.999 | 0.996 | 0.999 | 0.999 | 0.999 | 0.999 |
| %Error | 2.112 | 1.440 | 2.204 | 2.589 | 2.207 | 3.8273 |

Sedangkan untuk *enthalpy saturated liquid* untuk seluruh absorben DMF larutan ditunjukkan sebagai berikut.

$$h_{sl,a}(T) = F_0 + F_1T + F_2.....(2.9)$$

Nilai konstanta numerik persamaan di atas tersaji pada **Tabel 2.5**.

Tabel 2.5 Koefisien untuk Entalpi Cair Jenuh pada DMF

| Coeff. | DMF | DMETEG | NMP | DMETrEG | DMA |
|--------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| F_0 | -0.3522493E + 03 | -0.3333408E + 03 | -0.2525563E + 03 | -0.4153019E + 03 | -0.3438173E + 03 |
| F_1 | 0.1317081E + 01 | 0.1299057E + 01 | 0.9247983E + 00 | 0.1720001E + 01 | 0.1301697E + 01 |
| F_2 | 0.1239553E - 02 | 0.1053050E - 02 | 0.1340178E - 02 | 0.6099064E - 03 | 0.1182902E - 02 |
| CC | 1.00001 | 1.00001 | 1.00000 | 1.00002 | 1.00001 |
| %Error | 0.00168 | 0.02347 | 0.01709 | 0.00880 | 0.00103 |

Reference enthalpy = 100.0 kJ kg^{-1} for liquid at 273.15 K.

Sedangkan untuk *enthalpy saturated liquid* dan *saturated vapor* dari refrijeran ditunjukkan dengan rumus berikut:

$$h_{sl,r}(T) = F_0 + F_1T + F_2T^2 \dots \dots \dots (2.10)$$

$$h_{sv,r}(T) = F_0 + F_1T + F_2T^2 \dots \dots \dots (2.11)$$

Tabel 2.6 koefisien untuk entalpi cair jenuh dan uap jenuh pada refrijeran

| Coeff. | Saturated liquid | | Saturated vapour | |
|--------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| F_0 | -0.6814840E + 02 | 0.1966645E + 04 | 0.3722971E + 02 | -0.2720182E + 04 |
| F_1 | 0.0631300E + 00 | -0.1209784E + 02 | 0.1599520E + 01 | 0.1811784E + 02 |
| F_2 | 0.0020200E + 00 | 0.2018332E - 01 | -0.2260308E - 02 | -0.2699451E - 01 |
| TR | 253.15:323.15 | 323.15:368.15 | 253.15:323.15 | 323.15:368.15 |
| CC | 0.998 | 0.997 | 0.998 | 0.977 |
| %Error | 0.376 | 0.436 | 0.037 | 0.455 |

Reference enthalpy = 100 kJ kg⁻¹ for liquid at 273.15 K.

2.3.3 Tekanan Parsial Refrijeran Di Dalam Campuran

Salah satu perbedaan mesin pendingin difusi absorpsi dengan mesin pendingin kompresi uap adalah adanya fenomena tekanan yang terjadi di dalam evaporator. Pada mesin pendingin difusi absorpsi ini terjadi peningkatan tekanan pada keluaran evaporator jika dibandingkan dengan tekanan masuk ke evaporator. Hal ini terjadi karena di dalam evaporator refrijeran yang berfase cair akan menyerap panas dari lingkungan sehingga akan berubah fase menjadi uap, karena refrijeran mempunyai laju aliran massa yang sangat rendah jika dibandingkan dengan laju perubahan fase dari refrijeran maka tekanan pada keluaran evaporator akan meningkat.

Pada mesin pendingin difusi absorpsi, tekanan parsial refrijeran pada keluaran evaporator dapat diasumsikan *saturated vapor* dan dapat di hitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\ln \text{Pr}(T) = E_0 + \frac{E_1}{T} + E_2T + E_3 \ln T \text{ (Fatouh, 1993) } \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana :

$$E_0 = 0.20972706E + 03$$

$$E_1 = -0.77382052E + 04$$

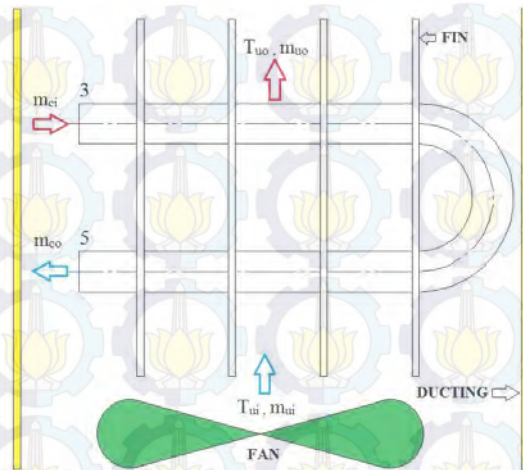
$$E_2 = 0.05627680E + 00$$

$$E_3 = -0.34790000E + 02$$

2.4 Performa Pada Mesin Difusi Absorpsi

2.4.1 Laju Aliran Massa Refrijeran (\dot{m}_{ref})

Laju aliran masa refrijeran dapat dianalisis secara termodinamis pada kondensor. Karena pada sistem pendingin ini refrijeran dari kondensor langsung menuju *evaporator* dan *heatloss* diabaikan, maka nilai laju aliran massa yang masuk *evaporator* sama dengan laju aliran massa yang keluar kondensor. Fluida yang melalui kondenser merupakan refrijeran yang mempunyai konsentrasi massa mendekati 100% ($X=1$) setelah dimurnikan oleh *rectifier*. Laju aliran keluar dari kondenser ini berupa refrijeran cair yang akan menuju *inlet evaporator* menjadi laju aliran massa refrijeran.



Gambar 2.8 Penampang kondenser dan laju aliran massa refrijeran
(Denis Aryanto, 2015)

Persamaan kesetimbangan energi untuk meninjau gambar di atas adalah :

$$E_{in} + E_g - E_{out} = E_{st} \dots \dots \dots (2.13)$$

Karena tidak ada energi bangkitan dan kerja yang masuk atau keluar sehingga didapatkan :

$$\dot{Q}_{\text{udara}} = \dot{Q}_{\text{kondensor}} \dots\dots\dots(2.14)$$

dimana :

$$\dot{Q}_{\text{udara}} = \dot{m}_{\text{udara}} \cdot c_{p \text{ udara}} (T_{\text{uo}} - T_{\text{ui}}) \dots\dots\dots(2.15)$$

$$\dot{m}_{\text{udara}} = \rho_{\text{udara}} \cdot V \cdot A \dots\dots\dots(2.16)$$

$$\dot{Q}_{\text{kondensor}} = \dot{m}_c (h_3 - h_5) \dots\dots\dots(2.17)$$

$$\dot{m}_{\text{ci}} = \dot{m}_{\text{co}} = \dot{m}_c = \dot{m}_{\text{ref}} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dengan melakukan substitusi persamaan (2.15), (2.17) dan (2.18) ke persamaan (2.14) maka akan didapatkan persamaan laju alir massa refrijeran yaitu:

$$\dot{m}_{\text{ref}} = \frac{\rho_{\text{udara}} \cdot V \cdot A \cdot c_{p \text{ udara}} \cdot (T_{\text{uo}} - T_{\text{ui}})}{(h_3 - h_5)} \dots\dots\dots(2.19)$$

dimana :

\dot{m}_{ref} = Laju aliran massa refrijeran (kg/s)

ρ_{udara} = massa jenis udara (kg/m³)

V = kecepatan udara melewati kondensor (m/s)

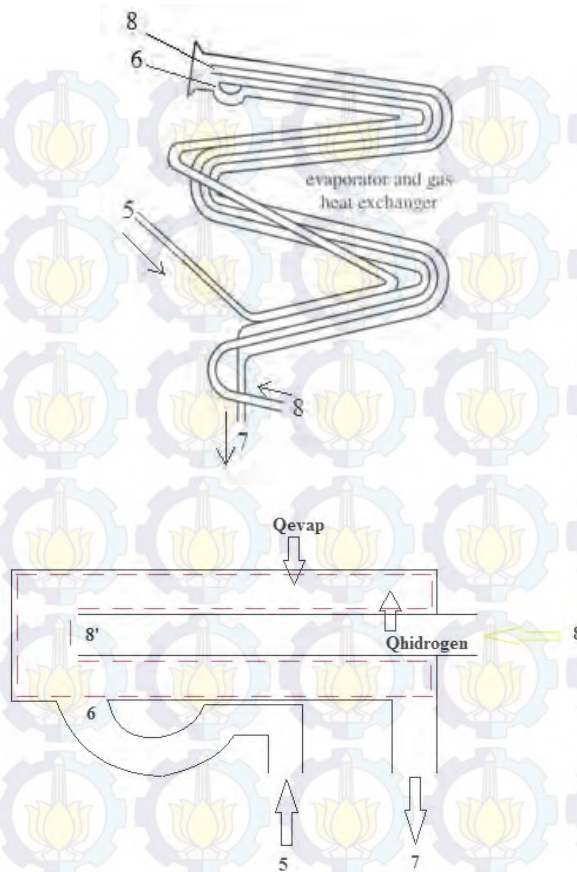
$c_{p \text{ udara}}$ = kalor spesifik udara (kJ/kg.K)

T_{uo} = Temperatur udara keluar *ducting* kondensor (K)

T_{ui} = Temperatur udara masuk *ducting* kondensor (K)

2.4.2 Kapasitas pendinginan (\dot{Q}_{evap})

Untuk mempermudah perhitungan dan pemahaman pada *evaporator* secara termodinamis maka dibuat skema pipa *evaporator* tipe *dobular tube* dan *gas heat exchanger* seperti yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.9 Control volume evaporator tipe dobular tube

Dari persamaan *energy balance* di *evaporator* didapatkan persamaan :

$$0 = \dot{Q}_{evap} + \dot{Q}_{hydrogen} - \dot{m}_6(h_7 - h_6) \dots \dots \dots (2.20)$$

$$\dot{Q}_{evap} + \dot{m}_{hydrogen} (h_8 - h_{8'}) = \dot{m}_6(h_7 - h_6) \dots \dots \dots (2.21)$$

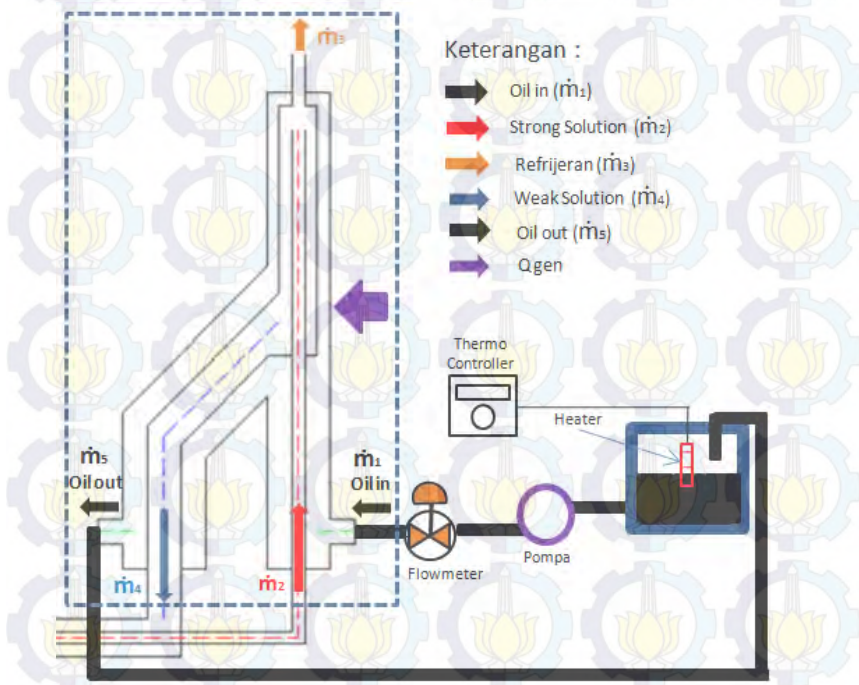
Hydrogen berada pada fase *superheated* sudah jauh dari kurva jenuh. Dikarenakan dari massa hydrogen yang sangat

rendah dan selisih *enthalpy* yang sangat kecil maka hidrogen bisa diabaikan. Sehingga persamaan untuk kapasitas pendinginan di *evaporator* didapatkan sebagai berikut:

$$\dot{Q}_{\text{evap}} = \dot{m}_{\text{ref}}(h_7 - h_6) \dots \dots \dots (2.22)$$

2.4.3 Kalor yang diserap *generator* (\dot{Q}_{gen}) dan laju aliran massa larutan di *generator*

Untuk mempermudah perhitungan pada *generator* maka sama seperti pada *evaporator* dibuat juga skema *control volume* *generator* seperti terlihat pada gambar 2.10. Dengan menggunakan persamaan *mass balance* dan *energy balance* maka akan didapatkan beberapa persamaan sebagai berikut :



Gambar 2.10 *Control volume* pada *Generator*

Dari persamaan *mass balance* di *generator* didapatkan persamaan

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3 + \dot{m}_4 + \dot{m}_5 \dots \dots \dots (2.23)$$

Dikarenakan nilai dari $\dot{m}_1 = \dot{m}_5$ maka akan didapat persamaan sebagai berikut

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 + \dot{m}_4 \dots \dots \dots (2.24)$$

Mass balance untuk campuran refrijeran dan DMF di *generator*

$$X_{ss} \dot{m}_2 = X_{ws} \dot{m}_4 + X_{ref} \dot{m}_3 \dots \dots \dots (2.25)$$

dimana :

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_{ss}$$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_{ref}$$

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_{ws}$$

maka akan didapatkan persamaan laju aliran massa *weak solution*

:

$$\dot{m}_{ws} = \dot{m}_{ref} \frac{(X_{ref} - X_{ss})}{(X_{ss} - X_{ws})} \dots \dots \dots (2.26)$$

dimana :

X_{ss} = Fraksi massa untuk *strong solution*

X_{ws} = Fraksi massa untuk *weak solution*

X_{ref} = Fraksi massa untuk refrijeran

Dengan menggunakan persamaan *energy balance* di *generator*

maka didapatkan persamaan :

$$0 = \dot{Q}_{gen} + \dot{m}_2 \cdot h_2 - \dot{m}_3 \cdot h_3 - \dot{m}_4 \cdot h_4 \dots \dots \dots (2.27)$$

Dengan memindah ruas \dot{Q}_{gen} akan diperoleh persamaan berikut :

$$\dot{Q}_{gen} = \dot{m}_{ref} \cdot h_3 + \dot{m}_{ws} \cdot h_4 - \dot{m}_{ss} \cdot h_2 \dots \dots \dots (2.28)$$

Selain perumusan diatas, bisa juga digunakan persamaan berdasarkan kesetimbangan energi pada *generator* dengan menggunakan laju perpindahan panas pada *thermal oil* :

$$\dot{Q}_{gen} = \dot{Q}_{oil}$$

$$\dot{Q}_{oil} = \dot{m}_{oil} C_p (\Delta T_{oil}) \dots \dots \dots (2.29)$$

2.4.4 Massa total Refrijeran - DMF

Massa total Refrijeran - DMF adalah penjumlahan massa dari DMF ditambah dengan massa dari refrijeran. Massa total yang dimasukan ke dalam sistem diharapkan agar mesin dapat bekerja secara ideal. Penentuan massa total didapat dari perumusan berikut :

$$m = \rho \cdot v \dots \dots \dots (2.30)$$

Diketahui bahwa volume sistem = $846,75 \text{ cm}^3$, $\rho_{DMF} = 0,944 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$, komposisi DMF dalam sistem sebesar 40%. Maka didapatkan nilai massa DMF di dalam sistem :

$$m_{DMF} = 0,944 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times 846,75 \text{ cm}^3 \times 40\%$$

$$m_{DMF} = 319.73 \approx 320 \text{ gr}$$

Untuk refrijeran, karena komposisinya sebesar 60% di dalam sistem maka massa refrijeran bisa didapatkan dengan perbandingan massa DMF yang sudah

$$m_{Ref} = \frac{0.6}{0.4} \times 320 \text{ gr}$$

$$m_{Ref} = 480 \text{ gr}$$

Sehingga jika dijumlahkan m_{DMF} dan m_{Ref} adalah 800 gr.

2.4.5 Efisiensi generator (η_{gen})

Efisiensi *generator* yaitu hasil perbandingan antara panas yang diserap *generator* dan panas yang diberikan *heater* pada *generator*. Berikut ini persamaan untuk mencari nilai efisiensi *generator*.

$$\eta_{gen} = \frac{\dot{Q}_{gen}}{\dot{Q}_{heater}} \dots \dots \dots (2.31)$$

dimana :

$$\dot{Q}_{heater} = V \cdot I \text{ (watt)} \dots \dots \dots (2.32)$$

2.4.6 COP (coefficient of performance)

Parameter unjuk kerja mesin pendingin yang paling umum adalah *coefficient of performance* (COP) yaitu merupakan perbandingan antara *output* yang diinginkan ($\dot{Q}_{evaporator}$)

terhadap *input* yang dibutuhkan ($\dot{Q}_{generator}$). COP untuk siklus refrijerasi difusi absorpsi nilainya kurang dari 1. Sehingga persamaannya dapat ditulis sebagai berikut

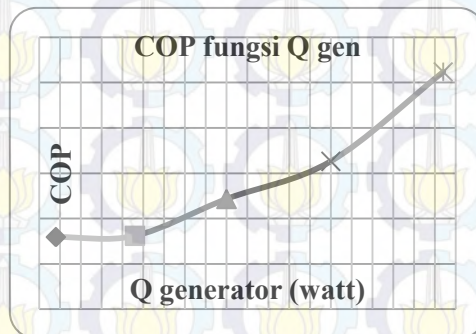
$$COP = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{Q}_{gen}} \dots\dots\dots(2.33)$$

2.5 Penelitian Terdahulu

Sebagai referensi dalam proses pembuatan tugas akhir ini, penulis membuat rangkuman dari beberapa hasil penelitian mengenai sistem refrijerasi difusi absorpsi. Berikut ini beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

2.5.1 Wilson A. D. Ambesa (2011) - Analisa Termodinamis Performansi Mesin Pendingin Sistem Difusi Absorpsi Amonia-Air Dengan Variasi Panas *Generator*.

Wilson melakukan penelitian pada mesin difusi absorpsi dengan memvariasikan energi panas sebesar 64 W, 83 W, 105 W, 130 W dan 157 W masing masing untuk volume beban 1 L. Beban pendinginan ialah air dengan temperatur 30°C dengan variasi volume mulai dari 1L, 2L, 3L, 4L hingga 5L untuk daya *input* konstan yakni 157 W.

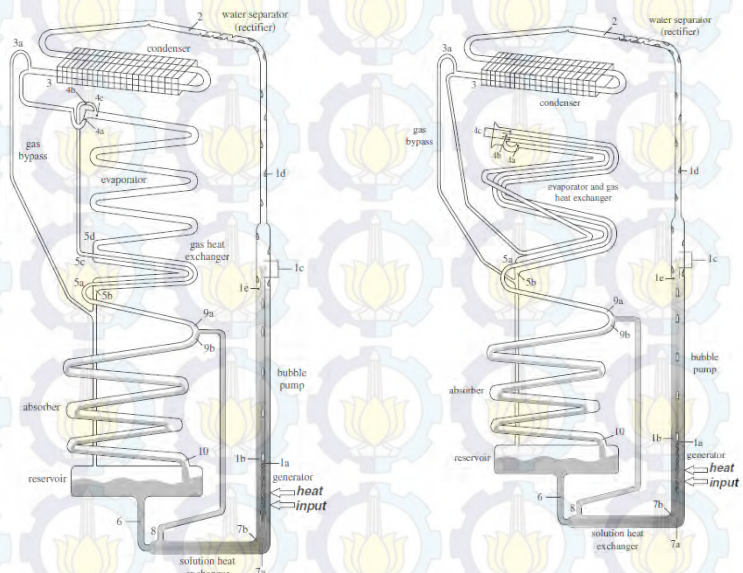


Gambar 2.11 Grafik pengaruh daya input generator terhadap COP (Wilson, 2011)

Dalam penelitian Wilson (2011), seperti terlihat pada gambar 2.11 hasil yang diperoleh dari pengujian adalah semakin tinggi panas *input generator* maka semakin baik performa sistem. Kapasitas pendinginan terbesar terbesar ialah 4,3 W dengan optimum COP 0,03, laju alir massa refrigeran di *evaporator* yang terbesar ialah 13.6 gram/jam.

2.5.2 A. Zohar, dkk (2005) – The Influence of Diffusion Absorption Refrigeration Cycle Configuration on The Performance

Zohar dkk., melakukan sebuah penelitian tentang *diffusion absorption refrigeration cycle* mereka melakukan penelitian dengan melakukan perubahan konstruksi pada *evaporator*nya dan membandingkan performansi kedua sistem tersebut.



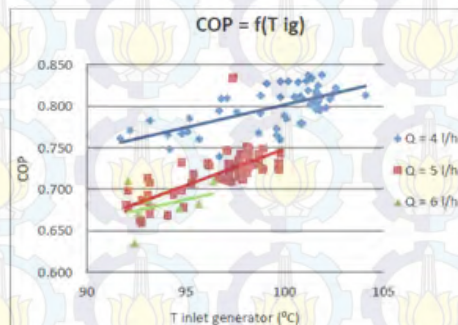
Gambar 2.12 (a) Skema sistem DAR 1 (b) Skema sistem DAR 2
(A. Zohar, dkk, 2005)

Pada sistem DAR-1 konstruksi dibuat agar amonia yang telah terkondensasi akan didinginkan terlebih dahulu dengan pasangan *evaporator* dan *gas heat exchanger* sebelum masuk ke *input evaporator* seperti terlihat pada gambar 2.12 (a). Sedangkan untuk sistem DAR-2 amonia yang sudah terkondensasi tidak mengalami pendinginan sebelum masuk ke *evaporator*. *Evaporator* dibuat secara terpisah dengan *gas heat exchanger* seperti terlihat pada gambar 2.12 (b).

Berdasarkan hasil analisa didapatkan bahwa COP dari sistem DAR 2 20% lebih baik daripada DAR 1, namun DAR 1 dapat memberikan temperatur pendinginan yang lebih rendah. Dalam hasil penelitian direkomendasikan konsentrasi refrigeran untuk larutan kaya optimum antara 0.3 – 0.4, sedangkan konsentrasi untuk larutan lemah 0.1.

2.5.3 Angga Panca Adiinto (2013) – Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Debit Fluida *Engine Oil* Sebagai *Heater Generator* Terhadap Performansi Mesin Pendingin Difusi Absorpsi R22-DMF

Angga melakukan penelitian pada mesin difusi absorpsi dengan memvariasikan debit fluida panas yang akan melalui *generator*. Debit divariasikan sebesar 4 liter/jam, 5 liter/jam dan 6 liter/jam.

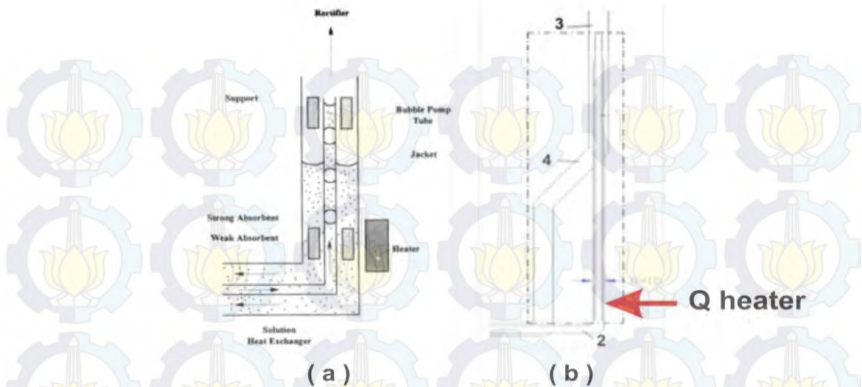


Gambar 2.13 Grafik COP fungsi T_{inlet generator} (Angga Panca, 2013)

Dari grafik diatas dapat dilihat pengaruh dari $T_{inlet\ generator}$ terhadap COP sistem adalah semakin naik $T_{inlet\ generator}$ maka semakin naik juga COP nya. Hasil yang diperoleh dari pengujian untuk variasi debit fluida 4liter/jam sampai 6 liter/jam yaitu semakin lambat debit fluida yang disirkulasikan pada *generator* maka nilai COP nya semakin naik seiring dengan naiknya nilai laju perpindahan panas pada *generatornya*. Unjuk kerja terbaik dari sistem difusi absorpsi diperoleh pada temperatur *inlet generator* sebesar 104.1 °C dengan debit *engine oil* 4 liter/jam yaitu diperoleh kapasitas pendinginan sebesar 120.4819 watt, COP 0.83 dan *circulation ratio* 2.5358.

2.5.4 Mohamad Riva'I (2013) - Studi Eksperimen Mesin Pendingin Difusi Absorpsi R-22–DMF Variasi Heater Generator

Pada penelitian kali ini Riva'i mendesain ulang *generator* sistem DAR 2 dengan menghilangkan pipa *weak solution* pada *bubble pump*. Sehingga *heater electric* akan langsung dibebankan pada *bubble pump*. Hal ini dimaksudkan agar efisiensi panas dari *heater electric* yang diserap oleh *generator* akan meningkat dikarenakan semakin menurunnya tahanan termal dari panas yang diberikan *heater electric* ke *bubble pump*.

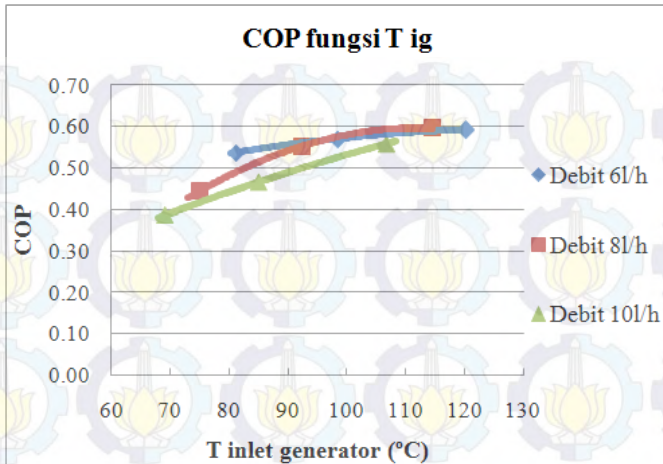


Gambar 2.14 (a) *Generator* sebelum dimodifikasi (b) *Generator* sesudah dimodifikasi (Riva'I,2013)

Riva'i menganalisa pengaruh variasi panas yang diberikan pada *generator* terhadap performansi sistem DAR 2. Besaran panas yang diberikan pada *generator* divariasikan dengan voltase *heater electric* 140 V (102,2 watt), 160 V (116,8 watt), 180 V (131,4 watt), 200 V (146 watt) dan 220 V (160,6 watt). Hasil yang didapatkan adalah semakin tinggi panas yang diberikan maka performa sistem DAR akan naik. Dengan daya yang diberikan ke *generator* $Q_{heater} = 160,6$ Watt, didapatkan $Q_{evap} = 0,11105$ KW, efesiensi *generator* $\eta_{gen} = 0,7782$, COP = 0,88 dan f (*Circulation Ratio*) = 2,098.

2.5.5 Denis Aryanto (2015) – Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Temperatur dan Debit *Thermal Oil* Sebagai Heater *Generator* Terhadap Performansi Mesin Pendingin Difusi Absorpsi R22-DMF

Denis melakukan penelitian pada mesin difusi absorpsi dengan memvariasikan temperature dan debit fluida panas yang akan melalui *generator*. Debit divariasikan sebesar 6 liter/jam, 8 liter/jam dan 10 liter/jam.



Gambar 2.15 Grafik COP fungsi debit *Thermal oil* (Denis Aryanto, 2015)

Grafik diatas menunjukkan gabungan hubungan antara COP rata-rata dengan temperatur *inlet generator* untuk debit *thermal oil* 6 liter/jam, 8 liter/jam dan 10 liter/jam. Dapat dilihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung naik secara konstan pada semua variasi debit. Nilai dari COP tertinggi rata rata berada pada debit 6 liter/jam diikuti debit 8 liter/jam dan 10 liter/jam. Tetapi nilai COP tertinggi ada pada debit *thermal oil* 8 liter/jam dan temperatur *inlet generator* 114,4°C dengan nilai COP 0,612.

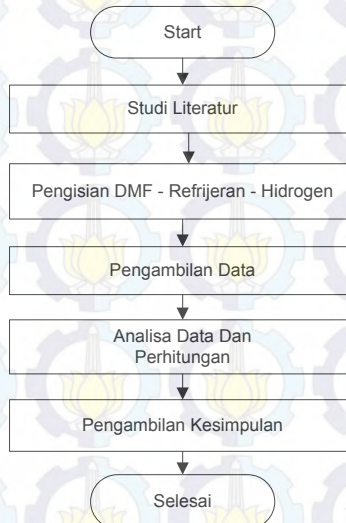
BAB III METODOLOGI

3.1 Proses Penelitian

Tahapan penelitian pertama yang dilakukan yaitu dengan studi literatur terhadap beberapa penelitian sebelumnya dan beberapa referensi yang berkaitan dengan sistem difusi absorpsi. Selanjutnya dilanjutkan dengan tahap pengisian DMF-Refrijeran dan gas *inert* hidrogen. Selanjutnya dilakukan pengambilan data dan selanjutnya dilakukan perhitungan dan analisa. Terakhir dilakukan pengambilan kesimpulan dari proses penelitian ini.

3.2 Sistematika Penelitian

Berikut ini diagram alir sistematika penelitian pada tugas akhir ini.



Gambar 3.1 *Flowchart* sistematika penelitian

3.3 Skema dan Peralatan Penunjang Pengujian

Terdapat beberapa alat penunjang dalam melakukan penelitian Tugas Akhir mesin difusi absorpsi ini. Alat penunjang ini berfungsi untuk mempermudah saat pengambilan data dan menjaga keselamatan saat pengujian alat. Alat penunjang yang digunakan yaitu alat ukur, alat untuk mengisi refrijeran dan DMF serta peralatan *safety* untuk menjaga keselamatan saat pengujian.

3.3.1 Gambar Sistem Mesin Pendingin Absorpsi

Penelitian dilakukan di laboratorium Termodinamika dan Perpindahan Panas di jurusan Teknik Mesin ITS. Berikut skema mesin difusi absorpsi.

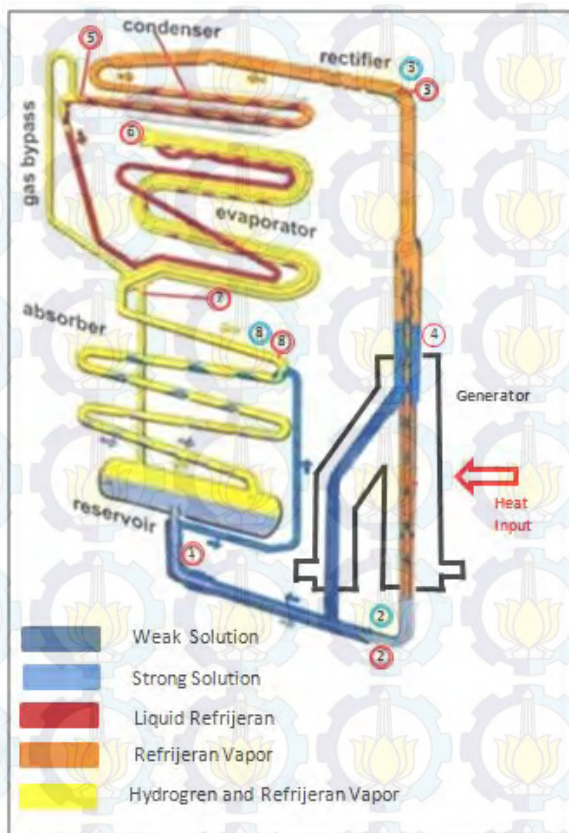


Gambar 3.2 Skema mesin pendingin difusi absorpsi

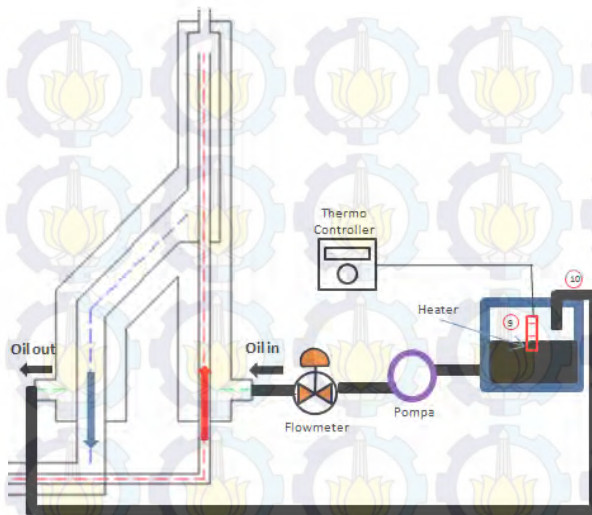
Keterangan :

1. Kondensor
2. *Pressure gauge*
3. *Rectifier*
4. *Outlet thermal oil*
5. *Generator*
6. Absorber
7. *Inlet thermal oil*
8. Tangki *reservoir*
9. *Fan* Kondensor
10. Kabin
11. *Evaporator*
12. Voltmeter
13. Saklar
14. Amperemeter
15. *Thermocontrol*
16. *Heater* elektrik
17. Tangki *thermal oil*

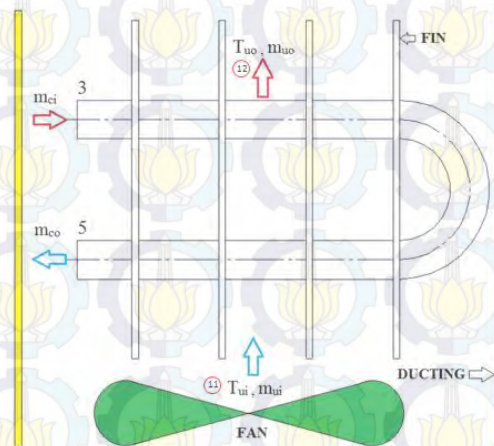
3.3.2 Parameter yang Diukur



Gambar 3.3 Titik Pengukuran Pada Mesin Difusi Absorpsi



Gambar 3.4 Titik Pengukuran Pada Aliran *Thermal Oil*



Gambar 3.5 Titik Pengukuran Temperatur Udara di Kondensor

Keterangan

1. Temperatur *outlet reservoir* (T_1)
2. Temperatur dan tekanan *strong solution* masuk *bubble pump* (T_2) dan (P_2)
3. Temperatur dan tekanan *inlet* kondensor (T_3) dan (P_3)
4. Temperatur *weak solution* (T_4)
5. Temperatur *outlet* kondensor (T_5)
6. Temperatur *inlet evaporator* (T_6)
7. Temperatur *outlet evaporator* (T_7)
8. Temperatur dan tekanan hidrogen keluar *absorber* (T_8) dan (P_8)
9. Temperatur *inlet thermal oil* (T_{io})
10. Temperatur *outlet thermal oil* (T_{io})
11. Temperatur udara *in* (T_{ui})
12. Temperatur udara *out* (T_{uo})

3.3.3 Alat ukur yang digunakan

1. *Pressure Gauge*

Alat ini digunakan untuk mengukur tekanan dalam sistem.

2. *Termocouple*

Sensor ini digunakan untuk mengukur temperatur permukaan pipa pada titik-titik yang telah ditentukan.

- Type : K
- Range temperatur : $(-200)^{\circ}\text{C}$ hingga 350°C

3. *Anemometer*

Alat ini digunakan untuk mengukur kecepatan aliran udara yang melewati kondensor.

4. *Data Acquisition Unit*

Alat ini digunakan untuk merekam, mengolah dan menyajikan data temperatur beberapa titik yang diinginkan dengan sistem yang sudah terkoneksi dengan *Personal Computer* ataupun laptop.

5. *Flowmeter*

Alat ini digunakan untuk mengukur besarnya debit fluida yang masuk ke *generator*.

3.3.4 Peralatan untuk pengisian refrijeran-DMF dan hidrogen

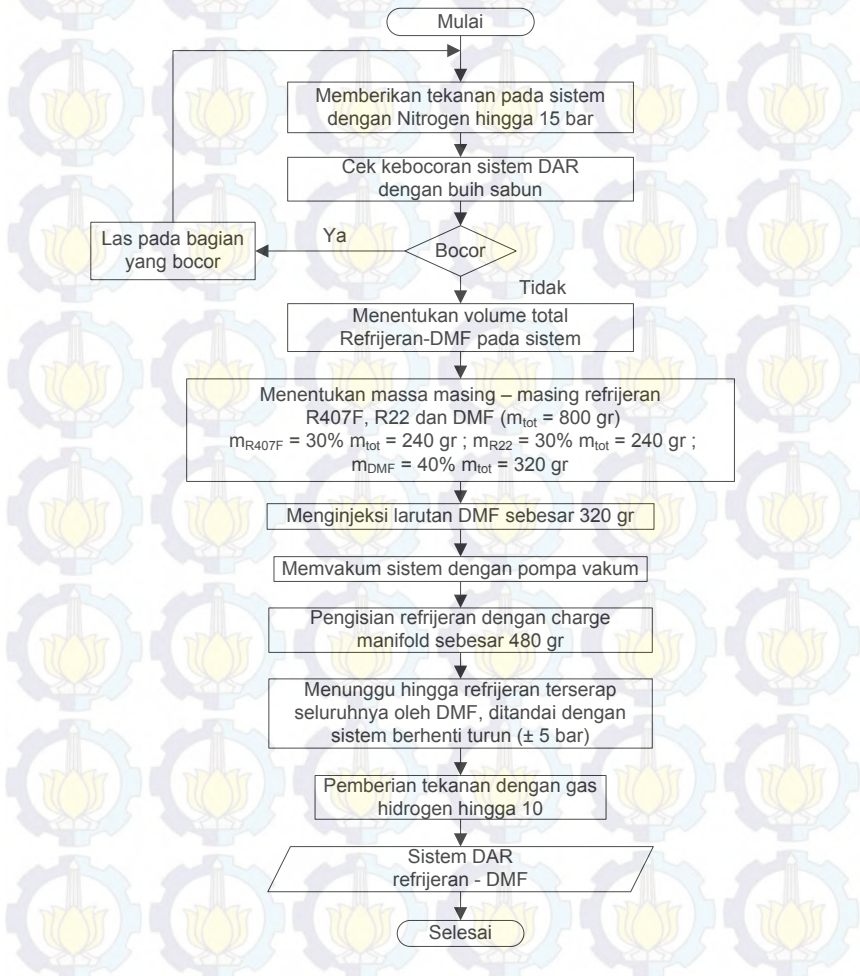
1. Gas Nitrogen
Gas yang digunakan untuk menguji kebocoran pada mesin difusi absorpsi.
2. *Vaccum Pump*
Alat untuk memvakum udara pada mesin difusi absorpsi sehingga hanya tersisa refrijeran, DMF dan hidrogen yang berada di dalam sistem.
3. Timbangan Digital
Alat untuk mengukur massa dari refrijeran dan massa dari DMF sebelum dimasukkan ke dalam sistem.
4. Alat Injeksi (Alat Suntik)
Alat untuk menginjeksi cairan DMF ke dalam sistem.
5. *Charge Manifold*
Alat untuk menyalurkan gas hidrogen dan refrijeran ke dalam sistem.

3.3.4 Peralatan safety

1. Sarung Tangan
Alat yang digunakan untuk melindungi tangan agar tidak terkontaminasi dengan refrijeran dan DMF pada saat pengisian pada sistem.
2. Masker
Alat untuk melindungi dari bahaya bau DMF pada saat pengisian DMF dilakukan.

3.4 Prosedur Pengisian Refrijeran-DMF-Gas Hidrogen

Berikut ini adalah *flowchart* prosedur pengisian refrijeran-DMF dan hidrogen.



Gambar 3.6 *Flowchart* pengisian Refrijeran-DMF-gas hidrogen

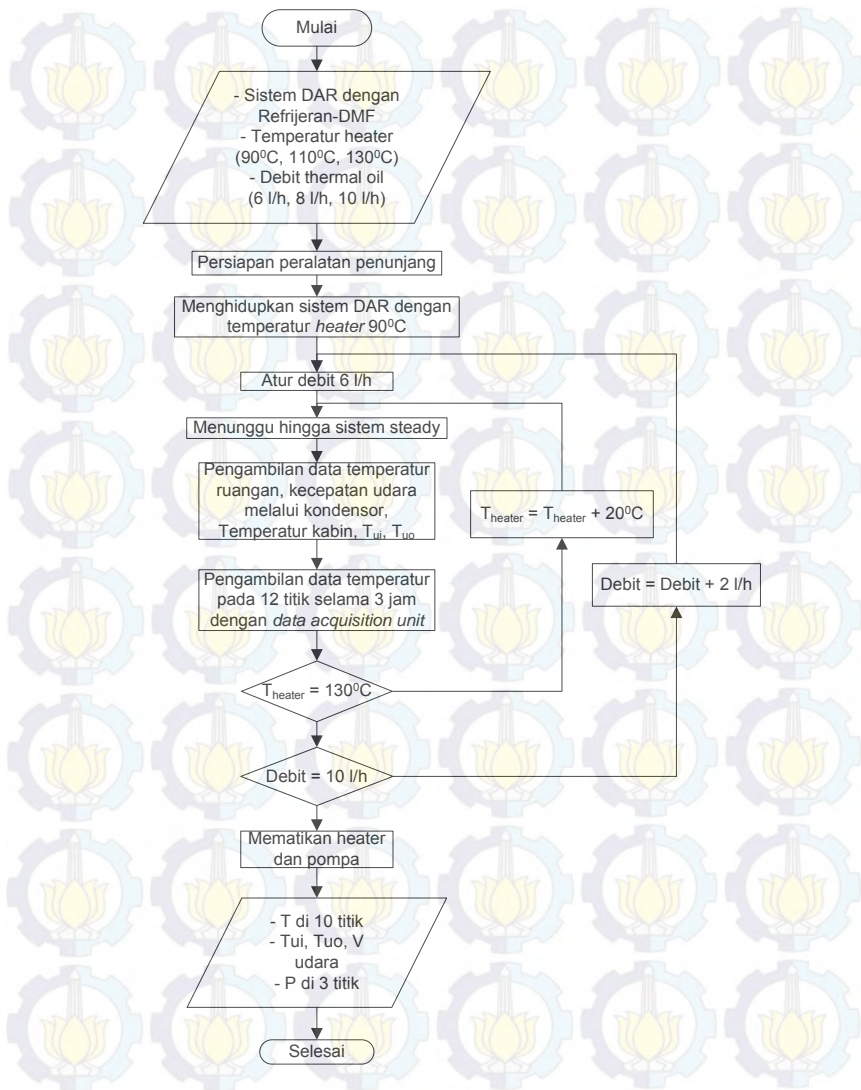
Berikut ini akan dijelaskan secara rinci mengenai pengisian refrijeran-DMF-Hidrogen pada sistem pendinginan difusi absorpsi, yaitu sebagai berikut.

1. Kosongkan sistem dari sisa - sisa refrijeran atau DMF dengan menggunakan *vaccum pump*.
2. Masukan gas nitrogen pada sistem sampai tekanan bernilai 15 bar melalui katup yang terdapat pada *reservoir*.
3. Lakukan cek kebocoran pada sistem dengan cara memberikan buih sabun yang dicampur air di sepanjang pipa atau dengan cara mencelupkan pada bak berisi air.
4. Periksa dengan teliti tanda – tanda kebocoran pada sistem dengan munculnya gelembung.
5. Jika terjadi kebocoran tandai kebocoran tersebut dengan selotip.
6. Buka katup pada *reservoir* agar gas nitrogen keluar dari sistem sampai tekanan pada *pressure gauge* menunjukan nilai nol.
7. Lakukan pengelasan pada titik kebocoran.
8. Setelah dilakukan pengelasan, cek kembali kebocoran pada sistem.
9. Apabila masih terjadi kebocoran, lakukan pengelasan ulang pada sistem sampai tidak terdapat kebocoran.
10. Jika kebocoran sudah tidak tampak lagi, lakukan proses penginjeksian cairan DMF dengan berat 320 gram. Proses injeksi dilakukan menggunakan alat injeksi (alat suntik) melalui katup pada *reservoir*.
11. Jika DMF sudah dimasukan ke dalam sistem, selanjutnya adalah melakukan vakum pada sistem dengan menggunakan pompa vakum. Proses vakum nitrogen dilakukan dengan bantuan selang yang mempunyai 3 cabang dan katup di setiap cabangnya (*charge manifold*). Cabang pertama dipasang pada

katup *reservoir*, cabang kedua disambungkan pada tabung refrijeran.

12. Saat proses pemvakuman, buka katup pada cabang pompa vakum dan katup *reservoir*. Tutup katup pada cabang refrijeran. Nyalakan pompa vakum dan amati *pressure gauge* sampai jarum *pressure gauge* sudah menunjukkan angka -1 bar. Lakukan proses vakum selama kurang lebih 1 jam.
13. Setelah sistem dalam kondisi vakum, berikan es batu disekeliling *reservoir* dan pipa pada seluruh sistem, letakan timbangan digital dibawah tabung refrijeran, tutup katup pada pompa vakum lalu buka katup pada cabang refrijeran. Refrijeran akan masuk ke dalam sistem secara alami karena sifat refrijeran yang mengalir dari temperatur panas ke temperatur dingin..
14. Jika massa dari refrijeran sudah mencukupi, maka tutup katup pada tabung refrijeran. Lepaskan (*charge manifold*) dari katup *reservoir*.
15. Tunggu sampai tekanan pada sistem menunjukkan angka kurang lebih 5 bar.
16. Langkah selanjutnya adalah memasukan gas hidrogen ke dalam sistem melalui katup pada *reservoir*. Lakukan *flushing* pada saat pemasangan selang hidrogen ke katup *reservoir* agar tidak terdapat oksigen yang ikut masuk ke dalam sistem. Lakukan pengisian hidrogen sampai tekanan dalam sistem menunjukkan angka 10 bar.

3.5 Prosedur Pengambilan Data



Gambar 3.7 *Flowchart* Pengambilan data

Untuk lebih memperjelas *flowchart* pengambilan data pada gambar 3.7, tahap pengambilan data dilakukan melalui beberapa tahapan yaitu tahap persiapan, tahap pengambilan data dan tahap akhir. Adapun penjelasannya sebagai berikut :

1. Tahap persiapan

- a. Periksa kondisi kabel pada kontrol mesin telah terisolasi dengan baik dan pemasangan kabel sudah sesuai dengan gambar desain kelistrikan.
- b. Pasang 12 *thermocouple* pada 12 titik ukur menggunakan kabel *ties*.
- c. Hubungkan *thermocouple* pada *data acquisition unit*.
- d. Hubungkan *data acquisition unit* dengan laptop yang sudah terinstall software pendukung. Pastikan fungsi kerja *data acquisition unit* berjalan baik dengan melakukan pengukuran pada semua titik *thermocouple*.
- e. Melakukan instalasi saluran *thermal oil* antara tangki pemanas dengan *generator* dengan memasang pompa sirkulasi, *flowmeter* dan selang $\frac{3}{4}$ "
- f. Masukkan *thermal oil* ke tangki pemanas.
- g. Pasang *heater electric* pada tangki pemanas.
- h. Periksa fungsi kontrol mesin dengan menyalakan saklar lalu mengatur *thermocontrol* pada temperatur tertentu. Pastikan fungsi *switch on-off* pada *thermocontrol* berjalan dengan baik.
- i. Pasang *fan* pada kondensor.
- j. Nyalakan pompa sirkulasi untuk memeriksa kondisi sirkulasi dan kebocoran pada saluran *thermal oil*.
- k. Lakukan perbaikan saluran apabila terjadi kebocoran dengan tambahan klem selang.
- l. Setelah semua langkah diatas dilakukan maka tahap pengambilan data bisa dilakukan.

2. Tahap Pengambilan Data

- a. Nyalakan mesin pendingin dengan menyalakan saklar pada posisi *on*.
- b. Nyalakan *fan* pada kondensor.
- c. Atur *thermocontrol* pada angka 90°C dan *heater* mulai memanaskan *thermal oil*.
- d. Nyalakan pompa sirkulasi *thermal oil* dan atur debit 6 liter/jam.
- e. Lakukan pengambilan data temperatur pada setiap titik ukur dengan menggunakan *data acquisitin unit*.
- f. Lakukan pengukuran data tekanan pada 3 titik pengukuran.
- g. Setelah 3 jam pengambilan data, naikan temperatur *heater* sebesar 20°C .
- h. Lakukan pengambilan data sampai temperatur *heater* 130°C .
- i. Naikan debit sebesar 2 liter/jam.
- j. Lakukan pengambilan data sampai debit 10 liter/jam.

3. Tahap Akhir

- a. Hentikan proses pada mesin pendingin sistem DAR dengan cara mematikan kontrol mesin, pompa sirkulasi dan *fan*.
- b. Lakukan analisa data dan perhitungan.

BAB IV

PERHITUNGAN DAN ANALISA DATA

4.1 Data Hasil Eksperimen

Dari eksperimen yang dilakukan pada mesin pendingin difusi absorpsi didapat beberapa data seperti kecepatan udara melalui kondensor, tekanan total sistem, temperatur pada 12 titik pengukuran dan debit fluida *thermal oil*.

Pengambilan data dilakukan dengan memberikan 2 variasi utama yaitu variasi temperatur *thermal oil* pada suhu 90°C, 110°C dan 130°C serta variasi debit pada saluran fluida *thermal oil* dengan variasi 6 l/h, 8 l/h dan 10 l/h. Data hasil percobaan pada setiap variasi temperatur dan debit *thermal oil* dapat dilihat pada lembar lampiran.

4.2 Perhitungan Data

Perhitungan data eksperimen mesin pendingin difusi absorpsi ini digunakan satu contoh data yaitu pada variasi debit *thermal oil* 6 l/h dengan temperatur 130°C. Berikut ini adalah data yang diperoleh dari proses pengukuran yang telah dilakukan :

- Debit fluida *thermal oil* = 6 liter/jam
- Temperatur *inlet thermal oil* (T_{ig}) = 120,4 °C
- Temperatur *outlet thermal oil* (T_{og}) = 99,6 °C
- Temperatur *outlet reservoir* (T_1) = 36,6 °C
- Temperatur *inlet bubble pump* (T_2) = 43,2 °C
- Temperatur *inlet* kondensor (T_3) = 58,6 °C
- Temperatur *weak solution* (T_4) = 80,5 °C
- Temperatur *outlet* kondensor (T_5) = 35,7 °C
- Temperatur *inlet evaporator* (T_6) = 17,6 °C
- Temperatur *outlet evaporator* (T_7) = 23,7 °C
- Temperatur *outlet absorber* (T_8) = 32,2 °C
- Temperatur udara masuk kondensor (T_{ui}) = 26,4 °C
- Temperatur udara keluar kondensor (T_{uo}) = 27,3 °C
- Tekanan total sistem = 12,5 bar

- Kecepatan udara melewati kondensor (v) = 1,99 m/s
- Konsentrasi *strong solution* (X_{ss}) = 0,6
- Massa jenis udara (ρ) = 1,1614 kg/m³
- Kalor spesifik rata-rata udara (C_p) = 1,007 kJ/kg.K
- Daya *heater generator* = 1000 Watt
- Luas *ducting* kondensor (A) = 0,0384 m²

Asumsi yang digunakan dalam perhitungan data ini adalah sebagai berikut :

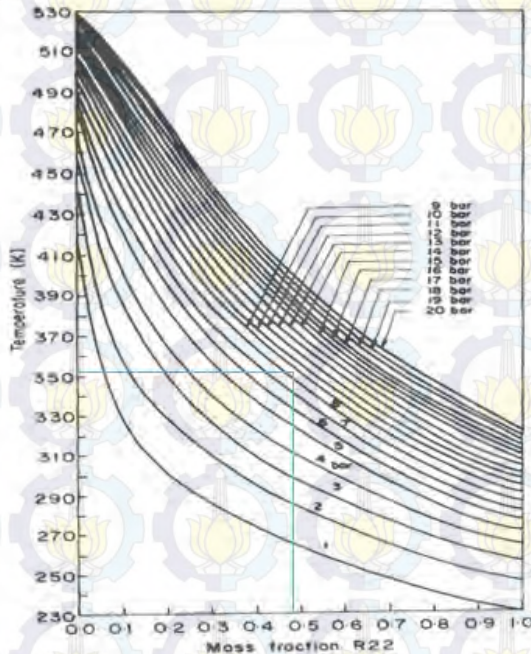
- Konsentrasi refrijeran yang melewati kondensor 100%.
- Refrijeran keluar dari kondensor dalam fase *saturated liquid*.
- Refrijeran keluar dari *evaporator* dalam fase *saturated vapor*.

Selain data-data diatas diperlukan data tambahan yang diperoleh dari melihat tabel pada jurnal ataupun referensi yang lain. Untuk data keseluruhan tiap titik dapat dilihat pada Lampiran 2.

4.2.1 Nilai konsentrasi *weak solution*

Nilai konsentrasi *weak solution* dapat diperoleh dengan menggunakan diagram P-T-X campuran R22-DMF (agarwal,1982). Diagram tersebut digunakan karena keterbatasan data untuk diagram campuran R407F-DMF, selain itu juga properties R22 yang hamper mirip dengan R407F (*Retrofit* R22). Penggunaan diagram dengan cara memasukkan data tekanan dan temperatur *weak solution* (T_4). Tekanan total sistem difusi absorpsi mempunyai tekanan total sistem sama disemua titik. Begitu juga dengan tekanan pada titik 4 *weak solution*. Dengan asumsi bahwa tekanan hidrogen yang bekerja pada *weak solution* di titik 4 sama dengan tekanan hidrogen yang bekerja pada *inlet evaporator* yaitu sekitar 4 bar, maka diperoleh nilai tekanan pada *weak solution* sama dengan tekanan parsial refrijeran di *inlet evaporator* yaitu sekitar sekitar 8,5 bar dan temperatur pada titik empat (T_4) 80,5 °C (353,65 K). Sehingga bila ditarik garis

horizontal ke kanan sampai bertemu dengan tekanan 8,5 bar, maka akan diperoleh nilai konsentrasi dari *weak solution* (X_{ws}) sebesar 0,48. Untuk lebih jelas maka dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram P-T-X untuk mencari konsentrasi *weak solution*. (Agarwal, 1982).

4.2.2 Nilai *enthalpy* di setiap titik pengamatan

Penentuan nilai *enthalpy* di setiap titik pengamatan yang dilalui refrigerant, dapat menggunakan tabel 1 lampiran 1 (*Properties of Saturated Refrigerant 22 (Liquid-Vapor): Temperature Table*) (Moran, 1998). Penggunaan table properties R22 dikarena sifatnya yang hamper mirip dengan refrigerant R407F (*Retrofit R22*). Selain itu karena R407F ini merupakan refrijeran yang masih baru sehingga data yang tersedia masih

terbatas. Tabel properties digunakan untuk mencari nilai h_5 , h_6 , h_7 , serta tabel 2 lampiran 1 (*Properties of Superheated Refrigerant 22 Vapor*) (Moran, 1998) untuk mencari nilai h_3 .

- $T_3 = 58,6^\circ\text{C}$ dan $P_3 = 12,3$ bar didapatkan $h_3 = 282,53$ kJ/kg
- $T_5 = 35,7^\circ\text{C}$ didapatkan $h_5 = 88,85$ kJ/kg
- $T_6 = 17,6^\circ\text{C}$ didapatkan $h_6 = 66,15$ kJ/kg
- $T_7 = 23,7^\circ\text{C}$ didapatkan $h_7 = 257,37$ kJ/kg

Penentuan nilai *enthalpy* di titik T_2 dan T_4 yang merupakan campuran refrijeran-DMF digunakan persamaan (2.5) hingga (2.9) (Fattouh, 1992). Sebagai contoh perhitungan *enthalpy weak solution* digunakan data di titik 4 dimana $T_4 = 80,5^\circ\text{C} = 353,65$ K dan konsentrasi *weak solution* ($X_{ws} = 0,48$).

Dengan menggunakan persamaan dibawah ini maka nilai *enthalpy strong solution* pada titik 4 dapat diketahui :

$$h(T,X) = h_{sl,r} X + h_{sl,a} (1 - X) + h_{mix}$$

Untuk menentukan $h_{sl,r}$ digunakan persamaan berikut karena pada kondisi ini berupa fase *saturated liquid* :

$$h_{sl,r} = F_0 + F_1 T + F_2 T^2$$

Dengan memasukkan konstanta F_0 , F_1 , F_2 dari lampiran 1 tabel 6 (koefisien untuk *enthalpy* cair jenuh dan uap jenuh) maka diperoleh :

$$h_{sl,r}(353,65) = 1966,7 + (-12,1 \times 353,65) + (0,02 \times 353,65^2)$$

$$h_{sl,r} = 188,90 \text{ kJ/kg.}$$

Untuk menentukan $h_{sl,a}$ digunakan persamaan dibawah ini :

$$h_{sl,a} = F_0 + F_1 T + F_2 T^2$$

Dengan memasukkan konstanta F_0 , F_1 , F_2 dari lampiran 1 tabel 5 (koefisien untuk *enthalpy* cair jenuh pada DMF) maka diperoleh :

$$h_{sl,a}(353,65) = -352,3 + (1,317 \times 353,65) + (0,00124 \times 353,65^2)$$

$$h_{sl,a} = 268,54 \text{ kJ/kg.}$$

Untuk menentukan h_{mix} digunakan persamaan dibawah ini :

$$h_{mix}(T,X) = \left(\frac{((1-X)RT^2)}{M_{mix}} \right) (K_0 Y_0 + K_1 Y_1 + K_2 Y_2 + K_3 Y_3)$$

Untuk mendapatkan nilai dari K_0 , K_1 , K_2 , K_3 dapat dilihat dari persamaan pada lampiran 1 tabel 3 (koefisien panas

campuran). Untuk nilai koefisien B_0 , B_1 , B_2 , C_0 , C_1 , dan C_2 dapat dilihat pada lampiran 1 tabel 4 (koefisien hunungan P-T-X pada campuran). Sedangkan nilai E_1 , E_2 dan E_3 tercantum pada sub.bab 2.3.2. Maka akan didapatkan nilai sebagai berikut :

$$K_0 = B_0/T^2 + 2C_0/T^3 - E_1/T^2 + E_2 + E_3/T$$

$$K_0 = ((-1817)/(353,65^2)) + 2 \times ((-135585))/(353,65^3) - ((-7738)/(353,65^2)) + 0.0563 + (-34.79/353,65)$$

$$K_0 = -0,00086$$

$$K_1 = B_1/T^2 + 2C_1/T^3$$

$$K_1 = ((-4303)/(353,65^2)) + 2 \times ((625797)/(353,65^3))$$

$$K_1 = -0,00611$$

$$K_2 = B_2/T^2 + 2C_2/T^3$$

$$K_2 = ((9878)/(353,65^2)) + 2 \times ((-1435546)/(353,65^3))$$

$$K_2 = 0,01407$$

Untuk mencari nilai Y_0 , Y_1 , Y_2 , Y_3 menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Y_0 = X / (1 - X)$$

$$Y_0 = 0,48 / (1 - 0,48)$$

$$Y_0 = 0,92308$$

$$Y_1 = (X / (1 - X)) + \ln(1 - X)$$

$$Y_1 = (0,48 / (1 - 0,48)) + \ln(1 - 0,48)$$

$$Y_1 = 0,26915$$

$$Y_2 = (1 / (1 - X)) - (1 - X) + 2\ln(1 - X)$$

$$Y_2 = (1 / (1 - 0,48)) - (1 - 0,48) + 2\ln(1 - 0,48)$$

$$Y_2 = 0,09522$$

$$Y_3 = (1 / (1 - X)) + (X^2 / 2) + 2X + 3\ln(1 - X)$$

$$Y_3 = (1 / (1 - 0,48)) + (0,48^2 / 2) + 2 \times 0,48 + 3\ln(1 - 0,48)$$

$$Y_3 = 0,40130$$

Dengan memasukkan semua nilai ke persamaan maka akan diperoleh $h_{\text{mix}} = -0,0249 \text{ kJ/kg}$. Sehingga didapatkan nilai *enthalpy* pada titik 4 :

$$h(T, X) = h_{\text{sl,r}} X + h_{\text{sl,a}} (1 - X) + h_{\text{mix}}$$

$$h(353,65,0,48) = (188,90 \times 0,48) + 268,54 \times (1 - 0,48) + -0,0249$$

$$h_4 = 230,29 \text{ kJ/kg}$$

Sedangkan untuk mencari nilai *enthalpy strong solution* digunakan data di titik 2 dimana $T_2 = 43,2^\circ\text{C} = 316,35 \text{ K}$ dengan konsentrasi *strong solution* ($X_{\text{ss}} = 0,6$). Dengan tahapan yang sama untuk mencari *enthalpy weak solution*, maka akan didapatkan nilai $h_2 = 166,51 \text{ kJ/kg}$

4.2.3 Perhitungan tekanan parsial refrijeran pada *evaporator*

Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan pada mesin pendingin difusi absorpsi, terdapat peningkatan tekanan parsial refrijeran pada *evaporator* yaitu dari *inlet* sebesar 8.518 bar ($T_6 = 17,6^\circ\text{C}$) dan pada *outlet* menjadi 10.084 bar ($T_7 = 23,7^\circ\text{C}$) yang didapatkan dengan melihat Tabel 1 di Lampiran 1. Terjadinya peningkatan tekanan di dalam *evaporator* ini terjadi akibat laju aliran massa dari refrijeran yang sangat rendah berbanding terbalik dengan laju perubahan fase refrijeran dari fase cair ke fase uap yang cepat. Dengan volume spesifik uap jenuh refrijeran yang jauh lebih besar daripada fase cair jenuhnya, maka akan mengakibatkan naiknya tekanan pada *outlet evaporator*. Untuk menghitung besarnya tekanan pada *outlet evaporator* juga dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\ln \text{Pr}(T) = E_0 + E_1/T + E_2 T + E_3 \ln T$$

Dimana :

$$E_0 = 0,20972706E + 03$$

$$E_1 = -0,77382052E + 04$$

$$E_2 = 0,05627680E + 00$$

$$E_3 = -0,34790000E + 02$$

$$\ln Pr(296,85) = 209,72706 + (-7738,2052 / 296,85) + (0,05627680 \times 296,85) + (-34,79 \times \ln 296,85)$$

$$\ln Pr(296,85) = 2,2977 \text{ bar}$$

$$Pr = 9,971 \text{ bar}$$

Jika nilai diatas dibandingkan dengan nilai yang didapatkan dari tabel Tabel 1 di Lampiran 1, tidak terdapat perbedaan yang cukup jauh dan bisa dibilang hasil perhitungan tekanan menggunakan rumus dan tabel adalah sama.

4.2.4 Perhitungan laju aliran massa refrijeran

Perhitungan nilai laju aliran massa refrijeran berdasarkan pada keseimbangan energi pada kondensor. Dimana pada kondensor diberikan *ducting* dengan tujuan untuk mempermudah perhitungan laju aliran massa refrijeran. Prinsip keseimbangan energi yang digunakan adalah dengan mengasumsikan bahwa panas yang dikeluarkan oleh refrijeran pada kondensor dan panas yang diterima udara yang melewati *fin* pada kondensor adalah sama.

Sehingga laju aliran massa refrijeran dapat dihitung sebagai berikut :

Luas penampang *ducting* kondensor adalah:

$$A = P \times L \\ = 0,32 \text{ m} \times 0,12 \text{ m} = 0,0384 \text{ m}^2$$

Laju aliran massa refrigeran didapatkan dari persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{ref}} &= \frac{\rho_{\text{udara}} \cdot V \cdot A \cdot C_p \text{ udara} \cdot (T_{\text{uo}} - T_{\text{ui}})}{(h_3 - h_5)} \\ &= \frac{1,1614 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,99 \text{ m/s} \cdot 0,0384 \text{ m}^2 \cdot 1,007 \text{ kJ/kg.K} \cdot (300,45 - 299,55) \text{ K}}{(282,53 - 83,89) \text{ kJ/kg}} \\ &= 0,00042 \text{ kg/s} = 0,42 \text{ gr/s} \end{aligned}$$

4.2.5 Perhitungan kapasitas pendinginan

Kapasitas pendinginan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{evap}} &= \dot{m}_{\text{ref}} (h_7 - h_6) \\ &= 0,00042 \text{ kg/s} (257,37 - 66,15) \text{ kJ/kg} \\ &= 79,41 \text{ Watt}\end{aligned}$$

4.2.6 Perhitungan kalor yang diserap generator

Perhitungan panas/kalor yang diserap oleh *generator* dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}\dot{m}_{\text{ws}} &= \dot{m}_{\text{ref}} \frac{(X_{\text{ref}} - X_{\text{ss}})}{(X_{\text{ss}} - X_{\text{ws}})} \\ &= 0,00042 \text{ kg/s} \times ((1 - 0,6)/(0,6 - 0,48)) \\ &= 0,00138 \text{ kg/s} \\ \dot{Q}_{\text{gen}} &= \dot{m}_{\text{ref}} \cdot h_3 + \dot{m}_{\text{ws}} \cdot h_4 - \dot{m}_{\text{ss}} \cdot h_2 \\ &= 0,00042 \text{ kg/s} \cdot 282,53 \text{ kJ/kg} + 0,00138 \text{ kg/s} \cdot 230,29 \text{ kJ/kg} - 0,00180 \text{ kg/s} \cdot 166,51 \text{ kJ/kg} \\ &= 136,47 \text{ Watt}\end{aligned}$$

4.2.7 Perhitungan efisiensi generator

Perhitungan efisiensi *generator* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{heater gen}} &= V \cdot I \\ &= 1000 \text{ Watt} \\ \eta_{\text{gen}} &= \frac{\dot{Q}_{\text{gen}}}{\dot{Q}_{\text{heater}}} \\ &= 136,47 \text{ Watt} / 1000 \text{ Watt} = 0,13\end{aligned}$$

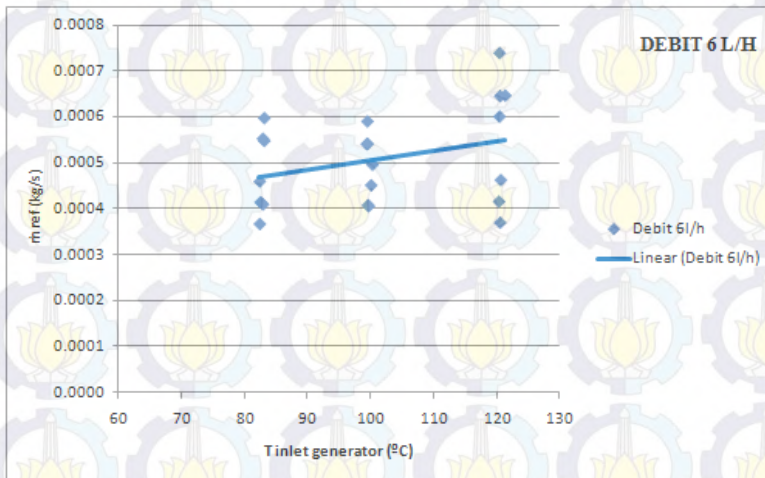
4.2.8 Perhitungan COP

Perhitungan *Coefficient Of Perfomance* atau yang lebih dikenal dengan istilah COP dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}\text{COP} &= \frac{\dot{Q}_{\text{evap}}}{\dot{Q}_{\text{gen}}} \\ &= 79,41 \text{ Watt} / 136,47 \text{ Watt} = 0,58\end{aligned}$$

4.3 Pembahasan Grafik

4.3.1 Grafik \dot{m} refrijeran fungsi temperatur *inlet generator*

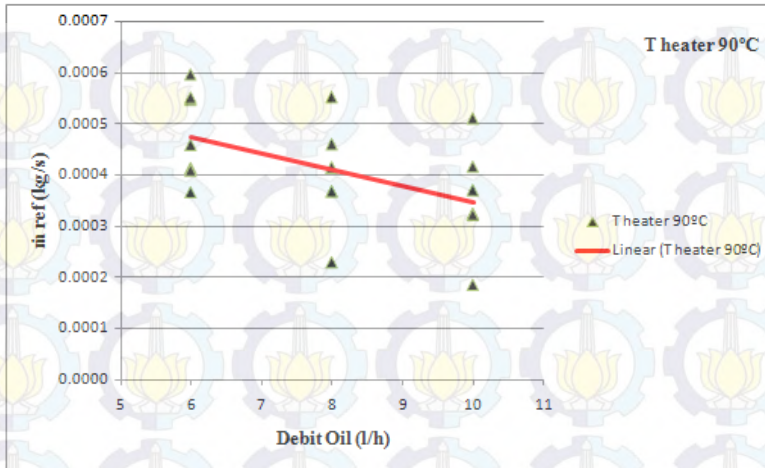


Gambar 4.2 Grafik laju aliran massa refrijeran fungsi temperatur *inlet generator*

Terlihat pada gambar 4.2 diatas adalah grafik hubungan rata-rata laju aliran massa refrijeran dengan temperatur *inlet generator*. Grafik menggunakan data debit fluida *thermal oil* 6 liter/jam. Terlihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung naik. Semakin tinggi temperatur *inlet generator* maka laju aliran massa refrijeran akan semakin naik. Nilai laju alir massa tertinggi yaitu sebesar 0,00074 kg/s pada temperatur *inlet generator* 120,5°C.

Hal ini dapat terjadi karena semakin besar panas yang diberikan pada *generator* maka akan semakin banyak refrijeran yang menguap dimana semakin banyak refrijeran yang menguap maka laju alir massa refrijeran akan semakin naik. Hal ini yang mengakibatkan dengan naiknya temperatur *inlet generator* maka laju aliran massa refrijeran akan semakin naik.

4.3.2 Grafik \dot{m} refrijeran fungsi debit *thermal oil*



Gambar 4.3 Grafik laju aliran massa refrijeran fungsi debit *thermal oil*

Terlihat pada gambar 4.3 diatas menunjukkan grafik hubungan laju aliran massa refrijeran fungsi debit *thermal oil* untuk temperatur heater 90°C. Terlihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung turun. Semakin tinggi debit *thermal oil* maka laju aliran massa refrijeran akan semakin rendah. Nilai laju alir massa tertinggi yaitu sebesar 0,00048 kg/s pada debit *thermal oil* 6 liter/jam.

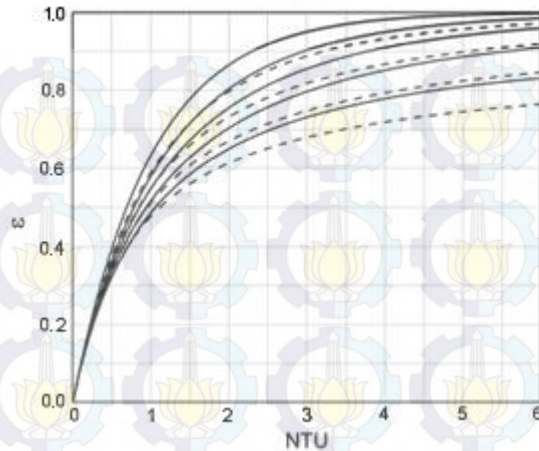
Hal ini berhubungan dengan persamaan :

$$NTU = \frac{U \cdot A}{C_{min}}$$

Nilai C_{min} yang digunakan yaitu C_{oil} . Dimana C_{min} memiliki perumusan sebagai berikut :

$$C_{min} = \dot{m}_{oil} \cdot C_{p\ oil}$$

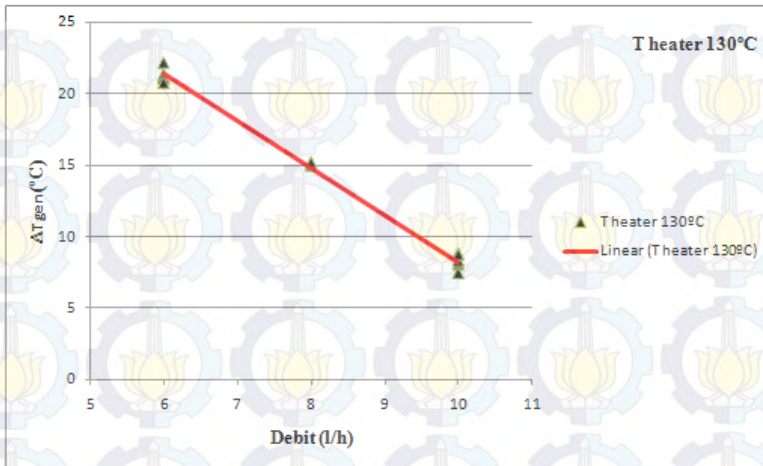
Sehingga apabila debit oil dinaikan maka \dot{m}_{oil} juga akan ikut naik. Mengakibatkan nilai dari NTU semakin mengecil.



Gambar 4.4 Hubungan NTU dan *effectiveness*.

Berdasarkan gambar 4.4, jika nilai NTU semakin mengecil maka nilai dari *effectiveness* semakin mengecil pula maka semakin sedikit juga refrijeran yang menguap. Dengan semakin sedikitnya refrijeran yang menguap maka laju alir massa refrijeran akan semakin turun.

4.3.3 Grafik ΔT oil fungsi debit *thermal oil*



Gambar 4.5 Grafik ΔT oil fungsi debit *thermal oil*

Terlihat pada gambar 4.5 diatas merupakan grafik hubungan antara selisih temperatur *inlet* dan *outlet generator* (ΔT oil) dengan debit *thermal oil* untuk temperatur heater 130°C. Terlihat pada grafik bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung menurun. Semakin tinggi debit *thermal oil* maka selisih temperatur *inlet* dan *outlet generator* akan semakin rendah. Nilai ΔT oil tertinggi yaitu sebesar 22,2°C pada debit *thermal oil* 6 liter/jam.

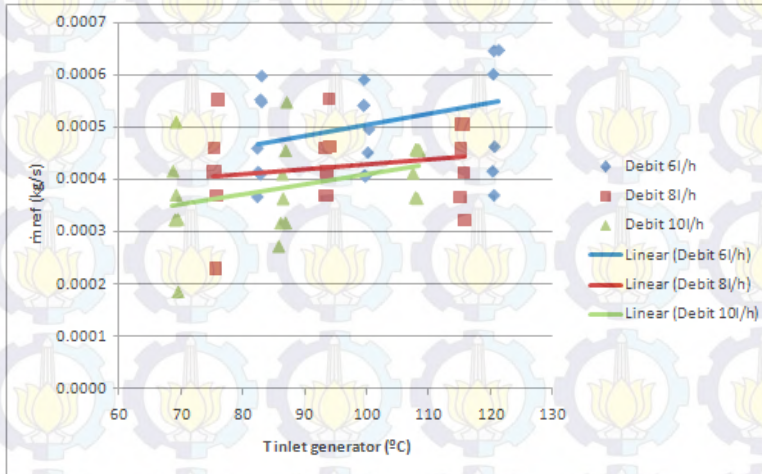
Terlihat pada grafik diatas kita bisa melihat pengaruh dari naiknya debit *thermal oil* terhadap selisih temperatur *inlet* dan *outlet generator* dimana berdasarkan rumus :

$$\dot{Q}_{oil} = \dot{m}_{oil} \cdot C_{p_{oil}} \cdot \Delta T_{oil}$$

Pada \dot{m}_{oil} yang semakin tinggi maka ΔT oil akan semakin turun. Jumlah penurunan ΔT oil yang lebih besar dari jumlah kenaikan \dot{m}_{oil} akan mengakibatkan turunnya laju perpindahan panas dari oli ke *generator* sehingga laju alir refrigeran akan semakin turun. Hal ini terjadi akibat nilai *effectiveness* dari *generator* yang semakin

kecil pada saat debit semakin tinggi sehingga penyerapan panas pada *generator* cenderung mengecil.

4.3.4 Grafik \dot{m} refrijeran fungsi temperatur *inlet generator*



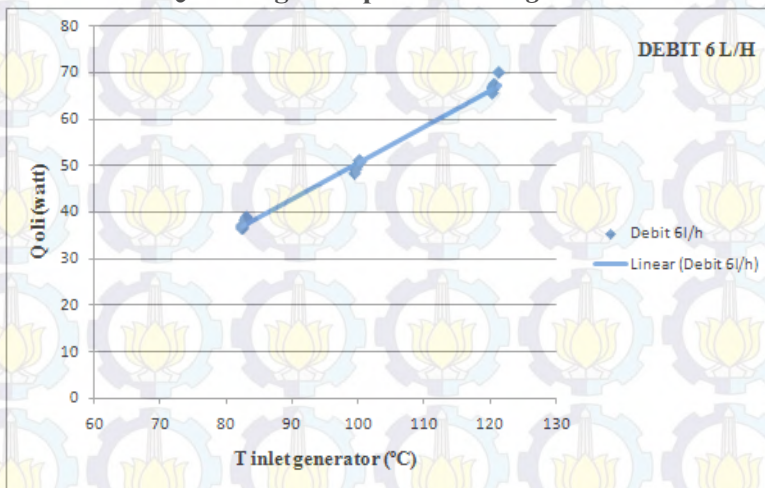
Gambar 4.6 Grafik laju aliran massa refrijeran fungsi temperatur *inlet generator*

Terlihat pada gambar 4.6 diatas merupakan grafik gabungan hubungan antara rata-rata laju aliran massa refrijeran dengan temperatur *inlet generator* untuk debit *thermal oil* 6 liter/jam, 8 liter/jam dan 10 liter/jam. Terlihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung naik untuk semua variasi debit. Nilai dari laju aliran massa refrijeran meningkat seiring bertambahnya temperatur *inlet generator*. Laju aliran massa refrijeran tertinggi rata rata berada pada debit 6 liter/jam diikuti debit 8 liter/jam kemudian 10 liter/jam. Nilai laju aliran massa refrijeran tertinggi yaitu pada debit *thermal oil* 6 liter/jam dan temperatur *inlet generator* sebesar 120,5°C dengan nilai 0,00074 kg/s.

Penyebab dari naiknya laju alir massa refrijeran adalah naiknya temperatur *inlet generator* dan turunnya debit *thermal oil*.

Hal ini dikarenakan panas yang diberikan *thermal oil* bertemperatur tinggi terhadap *generator* akan lebih besar jika dibandingkan dengan *thermal oil* yang bertemperatur lebih rendah yang mengakibatkan semakin cepatnya penguapan refrijeran sehingga semakin tinggi laju alirannya. Sedangkan pengaruh debit adalah dengan semakin naiknya debit *thermal oil*, maka tingkat penyerapan panas di *generator* justru akan semakin kecil. Hal ini diakibatkan oleh turunnya nilai *effectiveness* pada *generator* seiring dengan naiknya debit *thermal oil*. Turunnya tingkat penyerapan pada *generator* akan membuat semakin sedikit refrijeran yang menguap sehingga mengakibatkan turunnya laju alir massa refrijeran.

4.3.5 Grafik \dot{Q} oil fungsi temperatur inlet generator



Gambar 4.7 Grafik laju perpindahan panas *oil* pada *generator* fungsi temperatur *inlet generator*

Terlihat pada gambar 4.7 diatas merupakan grafik hubungan antara rata-rata laju perpindahan panas *oil* pada *generator* dengan temperatur *inlet generator* untuk debit *thermal oil* 6 liter/jam. Terlihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung naik. Semakin tinggi temperatur *inlet generator* maka

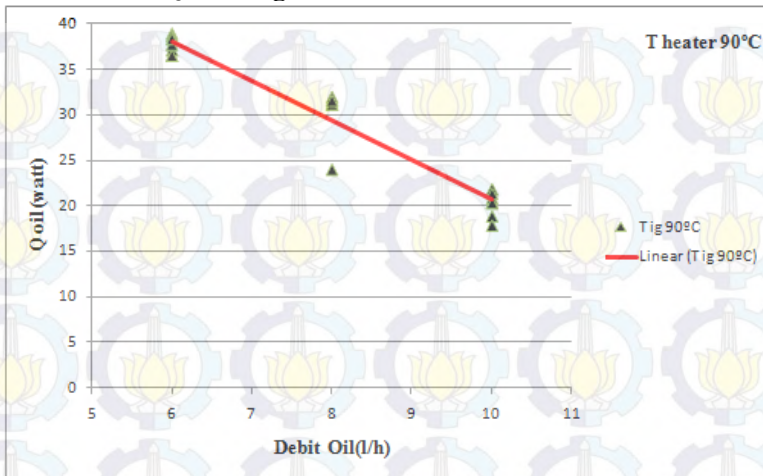
laju perpindahan panas *oil* pada *generator* akan semakin naik. Nilai laju perpindahan panas tertinggi yaitu sebesar 69,91 watt pada temperatur *inlet generator* 121,4°C.

Analisa grafik 4.6 diatas dapat menggunakan rumus laju perpindahan panas pada *generator* berikut ini:

$$\dot{Q}_{\text{gen}} = \dot{m}_{\text{ref}} \cdot h_3 + \dot{m}_{\text{ws}} \cdot h_4 - \dot{m}_{\text{ss}} \cdot h_2$$

Berdasarkan rumus diatas, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya laju perpindahan panas pada *generator*. Faktor pertama adalah dengan naiknya temperatur *inlet generator* maka akan mengakibatkan kenaikan temperatur pada titik 3 dan 4 yang secara langsung akan menaikkan nilai *enthalpy* pada titik 3 dan 4 yang mana berbanding lurus dengan kenaikan laju perpindahan panas pada *generator*. Faktor selanjutnya adalah dengan naiknya temperatur *inlet generator* maka akan mengakibatkan kenaikan temperatur pada titik 2 sehingga nilai *enthalpy* dititik 2 akan semakin naik yang akan mengakibatkan turunnya laju perpindahan panas pada *generator*. Hal tersebut terjadi karena semakin tingginya panas *inlet generator* maka panas yang diterima *generator* juga tentu akan semakin tinggi. Hal ini berkaitan dengan *effectiveness* pada *generator* yang akan semakin tinggi seiring dengan naiknya temperatur *inlet generator*.

4.3.6 Grafik \dot{Q} oil fungsi debit *thermal oil*



Gambar 4.8 Grafik laju perpindahan panas *oil* pada *generator* fungsi debit *thermal oil*

Terlihat pada gambar 4.8 diatas merupakan grafik hubungan antara rata-rata laju perpindahan panas *oil* pada *generator* dengan debit *thermal oil* untuk temperatur *heater oil* sebesar $90^{\circ}C$. Terlihat bahwa grafik mempunyai tren cenderung turun. Semakin tinggi debit *thermal oil* maka laju perpindahan panas *generator* akan semakin menurun. Nilai laju perpindahan panas tertinggi yaitu sebesar 37,62 watt pada debit 6 liter/jam.

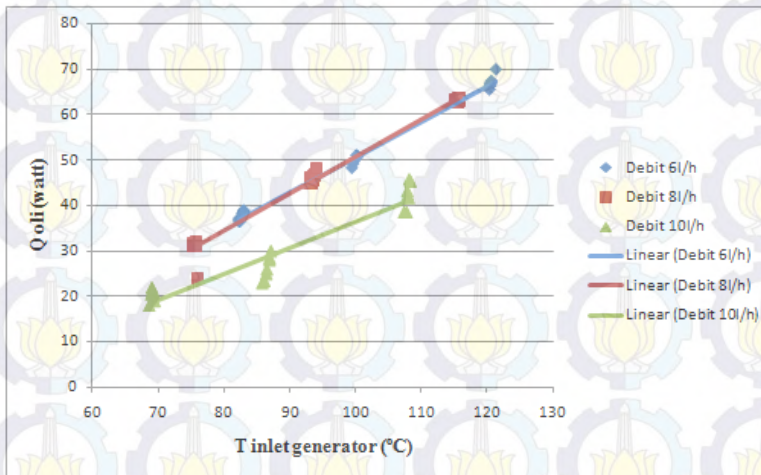
Hal ini terjadi karena semakin tinggi debit *thermal oil* akan mengakibatkan laju perpindahan panas oli ke *generator* akan semakin kecil seperti diperlihatkan pada persamaan berikut ini :

$$\dot{Q}_{oil} = \dot{m}_{oil} \cdot C_{p_{oil}} \cdot \Delta T_{oil}$$

Berdasarkan rumus tersebut, dengan naiknya debit maka akan membuat \dot{m}_{oil} semakin tinggi sehingga ΔT_{oil} akan semakin turun karena hubungannya berbanding terbalik. Jumlah penurunan ΔT_{oil} yang lebih besar dari jumlah kenaikan \dot{m}_{oil} akan mengakibatkan turunnya laju perpindahan panas dari oli ke

generator. Hal ini dipengaruhi oleh nilai *effectiveness generator* yang akan semakin kecil seiring dengan naiknya debit oli. Hal ini yang menyebabkan laju perpindahan panas *oil* pada *generator* cenderung makin kecil.

4.3.7 Grafik \dot{Q} oil fungsi temperatur inlet generator

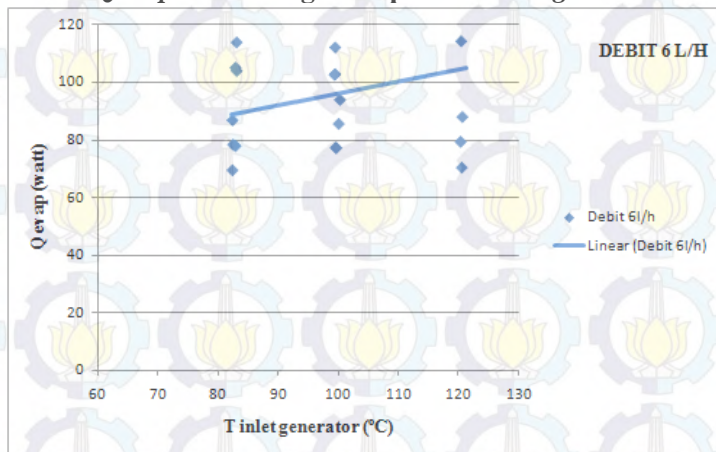


Gambar 4.9 Grafik laju perpindahan panas *generator* fungsi temperatur inlet *generator*

Terlihat pada gambar 4.9 diatas merupakan grafik gabungan hubungan antara rata-rata laju aliran perpindahan panas oli pada *generator* dengan temperatur inlet *generator* untuk debit *thermal oil* 6 liter/jam, 8 liter/jam dan 10 liter/jam. Terlihat pada grafik cenderung naik untuk semua variasi debit. Semakin besar nilai temperatur inlet *generator* maka nilai laju perpindahan panas oli pada *generator* akan semakin meningkat. Laju perpindahan panas paling tinggi rata rata berada pada debit *thermal oil* 6 liter/jam, diikuti 8 liter/jam dan terakhir 10 liter/jam. Nilai laju perpindahan panas paling tinggi yaitu sebesar 69,91 watt pada debit *thermal oil* 6 liter/jam dan temperatur inlet *generator* sebesar 121,4°C.

Penyebab dari naiknya laju perpindahan panas dari oli pada *generator* adalah naiknya temperatur *inlet generator* dan turunnya debit *thermal oil*. Hal ini dikarenakan panas yang diberikan *thermal oil* bertemperatur tinggi terhadap *generator* akan lebih besar jika dibandingkan dengan *thermal oil* yang bertemperatur lebih rendah. Sedangkan pengaruh debit adalah dengan semakin naiknya debit *thermal oil* maka tingkat penyerapan panas pada *generator* cenderung lebih kecil. Fenomena ini dipengaruhi oleh nilai *effectiveness generator* yang akan semakin kecil seiring dengan naiknya debit oli. Hal ini yang menyebabkan laju perpindahan panas pada oli pada *generator* cenderung makin kecil seiring naiknya debit *thermal oil*.

4.3.8 Grafik \dot{Q} evaporator fungsi temperatur inlet generator



Gambar 4.10 Grafik laju perpindahan panas *evaporator* fungsi temperatur *inlet generator*

Terlihat pada gambar 4.10 merupakan grafik hubungan antara rata-rata laju perpindahan panas *evaporator* dengan temperatur *inlet generator* untuk debit *thermal oil* 6 liter/jam. Terlihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung naik. Semakin tinggi temperatur *inlet generator* maka laju perpindahan panas *evaporator* akan semakin naik. Nilai laju perpindahan panas

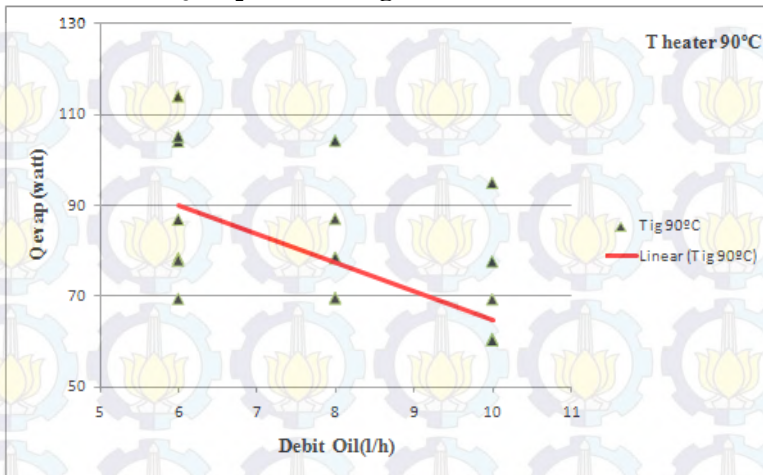
evaporator tertinggi yaitu sebesar 142,01 watt pada temperatur *inlet generator* 120,5°C.

Berikut ini merupakan rumus laju perpindahan panas pada *evaporator* :

$$\dot{Q}_{\text{evap}} = \dot{m}_{\text{ref}}(h_7 - h_6)$$

Bila dilihat dari rumus diatas, terdapat dua faktor yang mempengaruhi besarnya laju perpindahan panas pada *evaporator*. Faktor pertama yaitu dengan naiknya temperatur *inlet generator* maka akan mengakibatkan naiknya laju alir massa refrijeran yang mana akan berbanding lurus dengan kenaikan laju perpindahan panas pada *evaporator*. Faktor kedua yaitu selisih antara nilai *enthalpy* di titik 7 dan 6. Sehingga dapat disimpulkan bahwa laju perpindahan panas pada *evaporator* sangat dipengaruhi oleh laju alir massa refrijeran dan selisih antara nilai *enthalpy* di titik 7 dan 6. Semakin tinggi temperatur *inlet generator* maka mengakibatkan semakin banyak refrijeran yang bisa menguap dari *generator* sehingga laju alir massa refrijeran akan semakin naik. Semakin banyak jumlah refrijeran yang masuk kedalam *evaporator* maka semakin banyak juga kalor yang bisa diserap dari lingkungan sehingga nilai laju perpindahan panas *evaporator* akan semakin naik.

4.3.9 Grafik \dot{Q} evaporator fungsi debit *thermal oil*



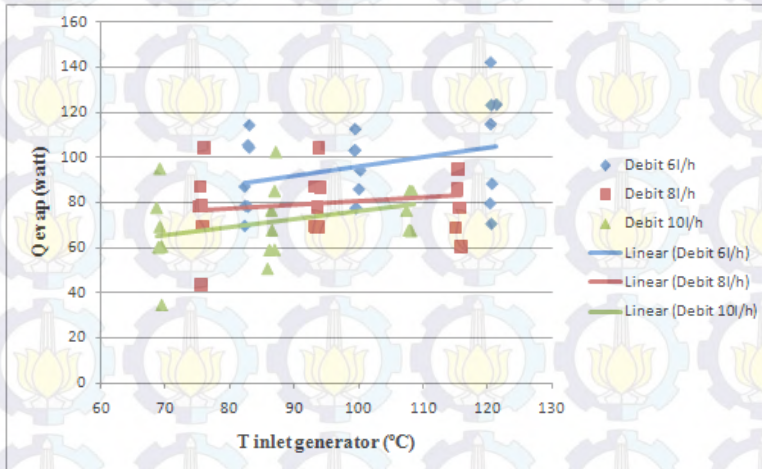
Gambar 4.11 Grafik laju perpindahan panas evaporator fungsi debit *thermal oil*

Terlihat pada gambar 4.11 merupakan grafik hubungan antara rata-rata laju perpindahan panas *evaporator* dengan debit *thermal oil* untuk temperatur heater oil sebesar 90°C. Terlihat bahwa grafik mempunyai tren turun. Semakin tinggi debit *thermal oil* maka laju perpindahan panas *evaporator* akan semakin turun. Nilai laju perpindahan panas *evaporator* tertinggi yaitu sebesar 90,90 watt pada debit 6 liter/jam.

Hal ini terjadi karena semakin tinggi debit *thermal oil* akan mengakibatkan laju alir massa refrijeran menjadi semakin turun. Sehingga dapat disimpulkan bahwa laju perpindahan panas pada *evaporator* sangat dipengaruhi oleh laju alir massa refrijeran. Semakin besar debit *thermal oil* maka mengakibatkan semakin sedikit refrijeran yang bisa menguap dari *generator* dikarenakan *effectiveness* pada *generator* yang cenderung turun seiring dengan naiknya debit *thermal oil*. Hal ini mengakibatkan laju alir massa refrijeran akan semakin turun sehingga semakin sedikit jumlah refrijeran yang masuk kedalam *evaporator* yang mengakibatkan

semakin sedikit juga kalor yang bisa diserap dari lingkungan sehingga nilai laju perpindahan panas *evaporator* akan semakin turun.

4.3.10 Grafik \dot{Q} *evaporator* fungsi temperatur inlet generator

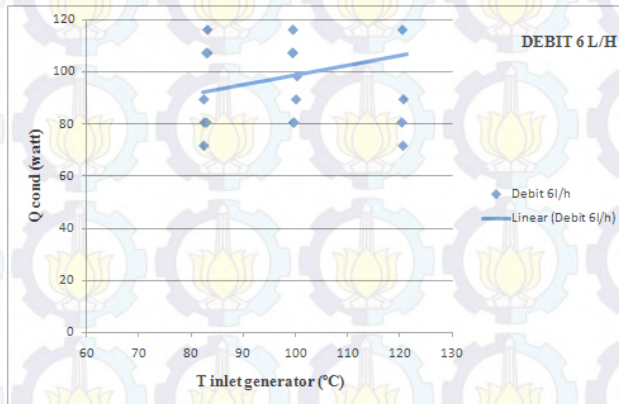


Gambar 4.12 Grafik laju perpindahan panas *evaporator* fungsi temperatur *inlet generator*

Terlihat pada gambar 4.12 merupakan grafik gabungan hubungan antara rata-rata laju perpindahan panas pada *evaporator* dengan temperatur *inlet generator* untuk debit *thermal oil* 6 liter/jam, 8 liter/jam dan 10 liter/jam. Terlihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung naik untuk semua variasi debit. Nilai dari laju perpindahan panas pada *evaporator* meningkat seiring bertambahnya temperatur *inlet generator*. Laju perpindahan panas pada *evaporator* tertinggi rata rata berada pada debit 6 liter/jam diikuti debit 8 liter/jam kemudian 10 liter/jam. Nilai laju perpindahan panas pada *evaporator* tertinggi yaitu pada debit 6 liter/jam dan temperatur *inlet generator* 120,5°C dengan nilai 142,01 watt.

Penyebab dari naiknya laju perpindahan panas pada *evaporator* adalah naiknya temperatur *inlet generator* dan turunnya debit *thermal oil*. Semakin tinggi temperatur *inlet generator* maka mengakibatkan semakin banyak refrijeran yang bisa menguap dari *generator* sehingga laju alir massa refrijeran akan semakin naik. Semakin banyak jumlah refrijeran yang masuk kedalam *evaporator* maka semakin banyak juga kalor yang bisa diserap dari lingkungan sehingga nilai laju perpindahan panas *evaporator* akan semakin naik. Sedangkan pengaruh debit adalah semakin besar debit *thermal oil* maka mengakibatkan semakin sedikit refrijeran yang bisa menguap dari *generator* dikarenakan *effectiveness* pada *generator* yang cenderung turun seiring dengan naiknya debit *thermal oil*. Hal ini mengakibatkan laju alir massa refrijeran akan semakin turun sehingga semakin sedikit jumlah refrijeran yang masuk kedalam *evaporator* yang mengakibatkan semakin sedikit juga kalor yang bisa diserap dari lingkungan sehingga nilai laju perpindahan panas *evaporator* akan semakin turun.

4.3.11 Grafik \dot{Q} kondensor fungsi temperatur *inlet generator*



Gambar 4.13 Grafik laju perpindahan panas kondensor fungsi temperatur *inlet generator*

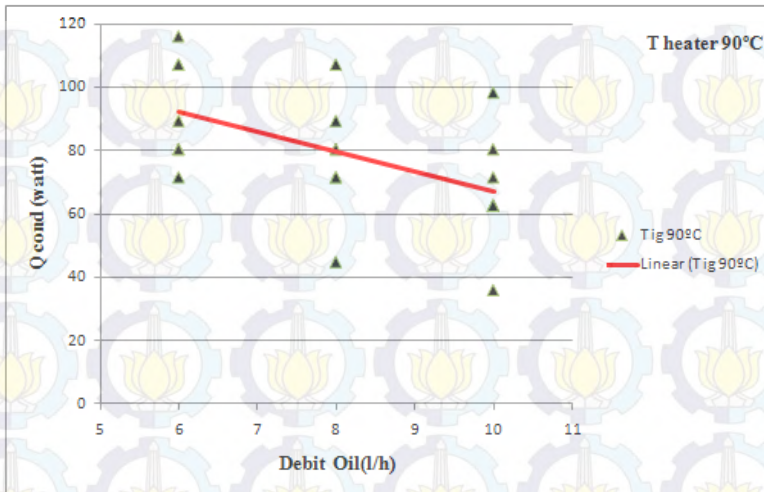
Gambar 4.13 merupakan grafik hubungan antara rata-rata laju perpindahan panas kondensor dengan temperatur *inlet generator* untuk debit *thermal oil* 6 liter/jam. Dapat dilihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung naik. Semakin tinggi temperatur *inlet generator* maka laju perpindahan panas kondensor akan semakin naik. Nilai laju perpindahan panas kondensor tertinggi yaitu sebesar 142,99 watt pada temperatur *inlet generator* sebesar 120,5°C.

Berikut ini rumus laju perpindahan panas pada kondensor :

$$\dot{Q}_{\text{kondensor}} = \dot{m}_{\text{ref}}(h_3 - h_5)$$

Berdasarkan rumus diatas, ada dua faktor yang mempengaruhi besarnya laju perpindahan panas pada kondensor. Faktor pertama adalah dengan naiknya temperatur *inlet generator* maka akan mengakibatkan naiknya laju alir massa refrijeran yang mana akan berbanding lurus dengan kenaikan laju perpindahan panas pada kondensor. Faktor kedua adalah selisih antara nilai *enthalpy* di titik 3 dan 5. Sehingga dapat disimpulkan bahwa laju perpindahan panas pada kondensor dipengaruhi oleh laju alir massa refrijeran dan selisih nilai *enthalpy* di titik 3 dan 5. Semakin tinggi temperatur *inlet generator* maka mengakibatkan semakin banyak refrijeran yang bisa menguap dari *generator* sehingga laju alir massa refrijeran akan semakin naik. Semakin banyak jumlah refrijeran yang masuk kedalam kondensor maka semakin banyak juga kalor yang bisa dilepaskan ke lingkungan sehingga nilai laju perpindahan panas kondensor akan semakin naik.

4.3.12 Grafik \dot{Q} kondensor fungsi debit *thermal oil*



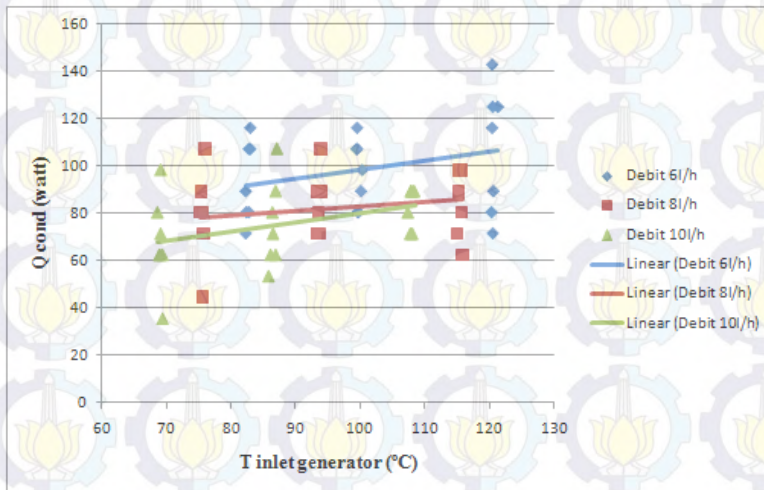
Gambar 4.14 Grafik laju perpindahan panas kondensor fungsi debit *thermal oil*

Terlihat pada gambar 4.14 merupakan grafik hubungan antara rata-rata laju perpindahan panas kondensor dengan debit *thermal oil* untuk temperatur *heater oil* 90°C. Dapat dilihat bahwa grafik mempunyai tren turun. Semakin tinggi debit *thermal oil* maka laju perpindahan panas kondensor akan semakin turun. Nilai laju perpindahan panas kondensor tertinggi yaitu sebesar 93,20 watt pada debit 6 liter/jam.

Hal ini terjadi karena semakin tinggi debit *thermal oil* akan mengakibatkan laju alir massa refrijeran akan semakin turun. Sehingga dapat disimpulkan bahwa laju perpindahan panas pada kondensor sangat dipengaruhi oleh laju alir massa refrijeran. Semakin besar debit *thermal oil* maka mengakibatkan semakin sedikit refrijeran yang bisa menguap dari *generator* dikarenakan *effectiveness* pada *generator* yang cenderung turun seiring dengan naiknya debit *thermal oil*. Hal ini mengakibatkan laju alir massa

refrijeran akan semakin turun sehingga semakin sedikit jumlah refrijeran yang masuk kedalam kondensor yang mengakibatkan semakin sedikit juga kalor yang bisa dilepaskan ke lingkungan sehingga nilai laju perpindahan panas kondensor akan semakin turun.

4.3.13 Grafik \dot{Q} kondensor fungsi temperatur *inlet generator*



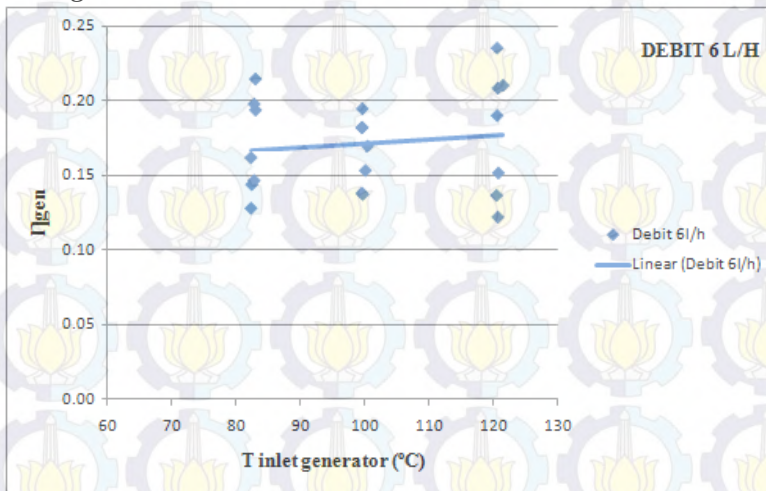
Gambar 4.15 Grafik laju perpindahan panas kondensor fungsi temperatur *inlet generator*

Terlihat pada Gambar 4.15 merupakan grafik hubungan antara rata-rata laju perpindahan panas pada kondensor dengan temperatur *inlet generator* untuk debit *thermal oil* 6 liter/jam, 8 liter/jam dan 10 liter/jam. Dapat dilihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung naik secara konstan untuk semua variasi debit. Nilai dari laju perpindahan panas pada kondensor meningkat seiring bertambahnya temperatur *inlet generator*. Laju perpindahan panas pada kondensor tertinggi rata rata berada pada debit 6 liter/jam diikuti debit 8 liter/jam kemudian 10 liter/jam. Nilai laju perpindahan panas pada kondensor tertinggi yaitu pada

debit 6 liter/jam dan temperatur *inlet generator* 120,5°C dengan nilai 142,99 watt.

Penyebab dari naiknya laju perpindahan panas pada kondensor adalah naiknya temperatur *inlet generator* dan turunnya debit *thermal oil*. Semakin tinggi temperatur *inlet generator* maka mengakibatkan semakin banyak refrijeran yang bisa menguap dari *generator* sehingga laju alir massa refrijeran akan semakin naik. Semakin banyak jumlah refrijeran yang masuk kedalam kondensor maka semakin banyak juga kalor yang bisa dilepaskan ke lingkungan sehingga nilai laju perpindahan panas kondensor akan semakin naik. Sedangkan pengaruh debit adalah semakin besar debit *thermal oil* maka mengakibatkan semakin sedikit refrijeran yang bisa menguap dari *generator* dikarenakan *effectiveness* pada *generator* yang cenderung turun seiring dengan naiknya debit *thermal oil*. Hal ini mengakibatkan laju alir massa refrijeran akan semakin turun sehingga semakin sedikit jumlah refrijeran yang masuk kedalam kondensor yang mengakibatkan semakin sedikit juga kalor yang bisa dilepaskan ke lingkungan sehingga nilai laju perpindahan panas kondensor akan semakin turun.

4.3.14 Grafik efisiensi generator fungsi temperatur inlet generator



Gambar 4.16 Grafik efisiensi generator fungsi temperatur inlet generator

Terlihat pada gambar 4.16 merupakan grafik hubungan antara rata-rata efisiensi generator dengan temperatur inlet generator untuk debit fluida thermal oil 6 liter/jam. Terlihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung naik. Semakin tinggi temperatur inlet generator maka efisiensi generator akan semakin naik. Nilai efisiensi tertinggi yaitu sebesar 0,24 pada temperatur inlet generator 120,5°C.

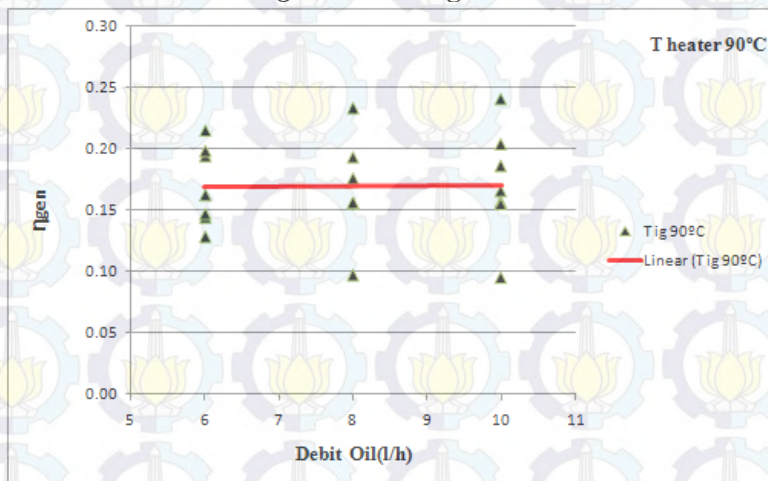
Setelah dilakukan perhitungan pada semua data yang didapatkan dari eksperimen didapatkan grafik seperti pada gambar 4.15. Berikut ini rumus efisiensi generator :

$$\eta_{gen} = \frac{\dot{Q}_{gen}}{\dot{Q}_{heater}}$$

Berdasarkan rumus diatas faktor yang mempengaruhi besarnya efisiensi generator adalah laju perpindahan panas pada generator (\dot{Q}_{gen}) dikarenakan nilai $\dot{Q}_{heater\ gen}$ besarnya tidak berubah-ubah yaitu sebesar 1000 watt. Semakin tinggi laju

perpindahan panas *generator* maka efisiensinya akan semakin naik. Fenomena ini terjadi karena semakin tinggi temperatur *inlet generator* akan mengakibatkan laju perpindahan panas *generator* semakin naik. Semakin tinggi temperatur *inlet generator* maka laju perpindahan panas *generator* akan semakin besar yang disebabkan oleh nilai *effectiveness* pada *generator* yang semakin naik sehingga mengakibatkan nilai efisiensinya semakin naik.

4.3.15 Grafik efisiensi *generator* fungsi debit *thermal oil*



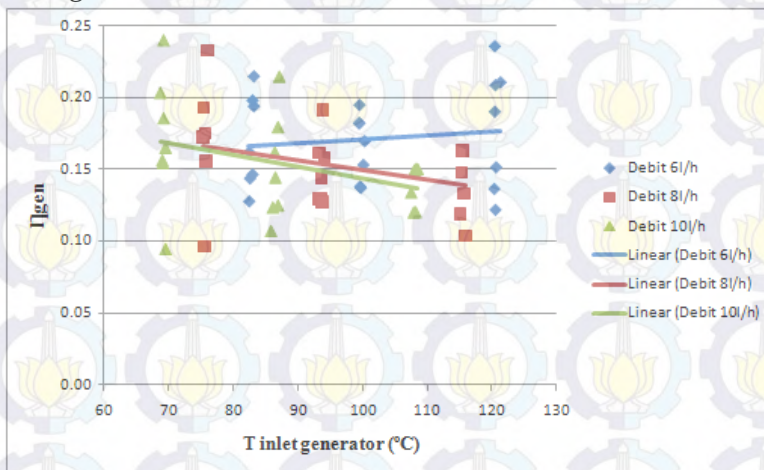
Gambar 4.17 Grafik efisiensi *generator* fungsi debit *thermal oil*

Terlihat pada gambar 4.17 merupakan grafik hubungan antara rata-rata efisiensi *generator* dengan debit *thermal oil* untuk temperatur heater oil 90°C. Terlihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung konstan.. Nilai efisiensi tertinggi yaitu sebesar 0,17 pada debit *thermal oil* 6 lilet/jam.

Fenomena ini terjadi karena semakin tinggi debit *thermal oil* akan mengakibatkan laju perpindahan panas *generator* semakin turun. Sehingga dapat disimpulkan bahwa efisiensi *generator* sangat dipengaruhi oleh laju perpindahan panas

generator. Semakin tinggi debit *thermal oil* maka laju perpindahan panas *generator* akan semakin kecil yang disebabkan oleh nilai *effectiveness* pada *generator* yang semakin menurun sehingga mengakibatkan nilai efisiensinya semakin turun. Bisa disimpulkan bahwa pengaruh turunnya *effectiveness* pada *generator* juga mempengaruhi turunnya efisiensi *generator*.

4.3.16 Grafik efisiensi *generator* fungsi temperatur inlet *generator*



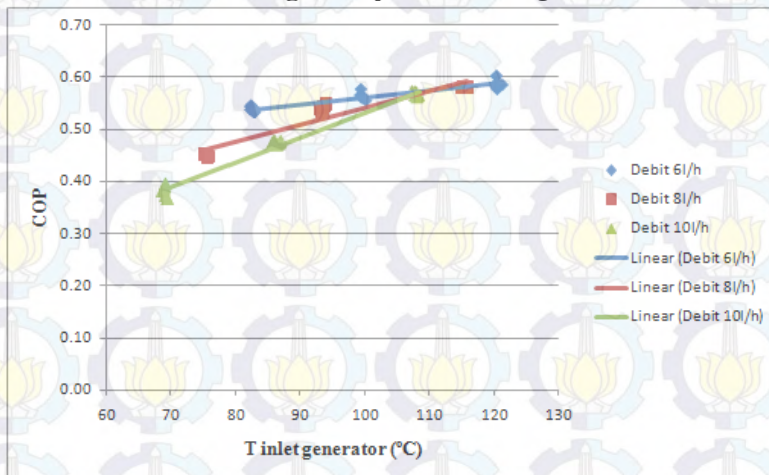
Gambar 4.18 Grafik efisiensi *generator* fungsi temperatur inlet *generator*

Terlihat pada gambar 4.18 merupakan grafik gabungan hubungan antara rata-rata efisiensi *generator* dengan temperatur inlet *generator* untuk debit *thermal oil* 6 liter/jam, 8 liter/jam dan 10 liter/jam. Terlihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung naik pada debit 6 liter/jam. Sedangkan untuk debit 8 liter/jam dan 10 liter/jam cenderung turun. Hal ini disebabkan karena ketidakcermatan dalam pengambilan data. Nilai dari efisiensi *generator* tertinggi rata rata berada pada debit 6 liter/jam diikuti debit 8 liter/jam dan 10 liter/jam. Nilai efisiensi *generator*

tertinggi yaitu pada debit *thermal oil* 6 liter/jam dan temperatur *inlet generator* 120,5°C dengan nilai 0,24.

Penyebab dari naiknya efisiensi *generator* adalah naiknya temperatur *inlet generator* dan turunnya debit *thermal oil*. Hal ini dikarenakan semakin tinggi temperatur *thermal oil* akan membuat laju perpindahan panas *generator* semakin tinggi yang mana akan berhubungan langsung dengan naiknya efisiensi *generator*. Sedangkan pengaruh debit adalah dengan semakin naiknya debit *thermal oil* maka penyerapan panas di *generator* akan lebih sedikit dikarenakan nilai *effectiveness generator* semakin turun seiring dengan naiknya debit sehingga membuat laju perpindahan panas *generator* turun dan membuat nilai efisiensi *generator* akan semakin kecil. Bisa dikatakan bahwa bahwa pengaruh turunnya *effectiveness* pada *generator* juga mempengaruhi turunnya efisiensi *generator*.

4.3.17 Grafik COP fungsi temperatur *inlet generator*



Gambar 4.19 Grafik COP fungsi temperatur *inlet generator*

Terlihat pada gambar 4.18 merupakan grafik hubungan antara nilai COP rata-rata dengan temperatur *inlet generator*

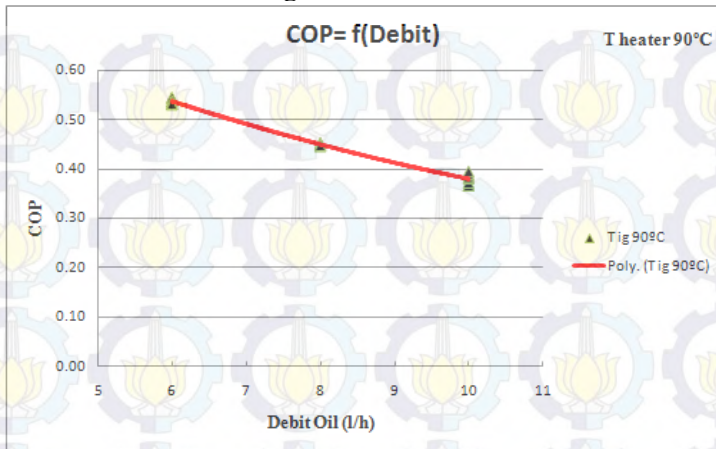
untuk debit *thermal oil* 6 liter/jam. Dapat dilihat bahwa grafik mempunyai tren cenderung naik. Semakin tinggi temperatur *inlet generator* maka COP akan semakin naik. Nilai COP tertinggi yaitu sebesar 0,60 pada temperatur *inlet generator* 120,5°C.

Berikut ini rumus COP :

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_{\text{evap}}}{\dot{Q}_{\text{gen}}}$$

Berdasarkan rumus diatas ada dua faktor yang mempengaruhi besarnya COP yaitu laju perpindahan panas pada *evaporator* (\dot{Q}_{evap}) dan pada *generator* (\dot{Q}_{gen}). Nilai COP akan naik seiring dengan naiknya \dot{Q}_{evap} dan akan turun seiring dengan kenaikan \dot{Q}_{gen} . Naiknya temperatur *inlet generator* akan membuat nilai laju alir massa refrijeran semakin naik karena semakin banyak uap refrijeran yang dapat menguap dari *generator* yang mengakibatkan semakin banyak kalor yang bisa diserap dari lingkungan pada *evaporator* karena jumlah refrijeran yang lebih banyak. Hal inilah yang menyebabkan nilai COP semakin naik seiring dengan bertambahnya temperatur pada *inlet generator*.

4.3.18 Grafik COP fungsi debit *thermal oil*



Gambar 4.20 Grafik COP fungsi debit *thermal oil*

Terlihat pada gambar 4.19 merupakan grafik hubungan antara COP rata-rata dengan debit *thermal oil* untuk temperatur heater oil 90°C. Dapat dilihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung turun seiring dengan naiknya debit *thermal oil*. Nilai COP tertinggi yaitu sebesar 0,54 pada debit 6 liter/jam.

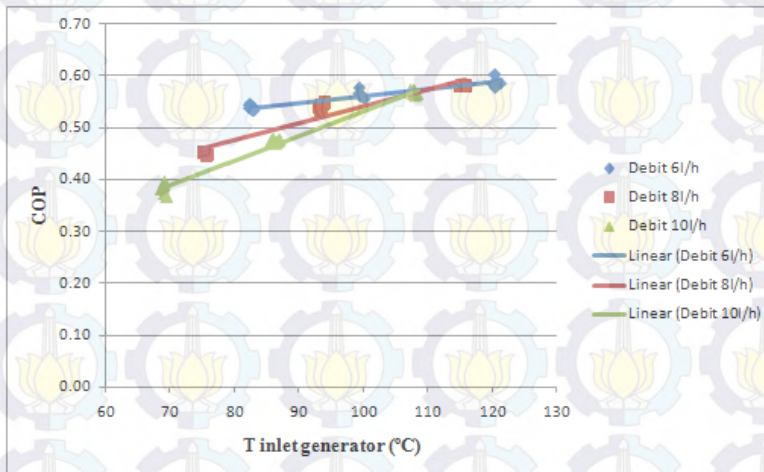
Berikut ini rumus COP :

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_{\text{evap}}}{\dot{Q}_{\text{gen}}}$$

Berdasarkan rumus diatas ada dua faktor yang mempengaruhi besarnya COP yaitu laju perpindahan panas pada *evaporator* (\dot{Q}_{evap}) dan pada *generator* (\dot{Q}_{gen}). Nilai COP akan naik seiring dengan naiknya \dot{Q}_{evap} dan akan turun seiring dengan kenaikan \dot{Q}_{gen} . naiknya debit *thermal oil* akan membuat nilai laju alir massa refrijeran semakin turun karena semakin sedikit uap refrijeran yang dapat menguap dari *generator* yang mengakibatkan semakin sedikit kalor yang bisa diserap dari lingkungan pada *evaporator* karena jumlah refrijeran yang lebih sedikit. Hal ini dipengaruhi oleh nilai *effectiveness* pada *generator*

yang cenderung turun seiring dengan naiknya debit *thermal oil*. Sehingga inilah yang menyebabkan nilai COP cenderung turun seiring dengan naiknya debit *thermal oil*.

4.3.19 Grafik COP fungsi temperatur *inlet generator*



Gambar 4.21 Grafik COP fungsi temperatur *inlet generator*

Terlihat pada gambar 4.20 merupakan grafik gabungan hubungan antara COP rata-rata dengan temperatur *inlet generator* untuk debit *thermal oil* 6 liter/jam, 8 liter/jam dan 10 liter/jam. Terlihat bahwa grafik mempunyai tren yang cenderung naik secara konstan pada semua variasi debit. Nilai dari COP tertinggi rata rata berada pada debit 6 liter/jam diikuti debit 8 liter/jam dan 10 liter/jam. Nilai COP tertinggi ada pada debit *thermal oil* 6 liter/jam dan temperatur *inlet generator* 120,5°C dengan nilai COP 0,60.

Hal ini terjadi dikarenakan adanya hubungan antara kenaikan temperatur *inlet generator* dan penurunan debit *thermal oil* dengan naiknya laju perpindahan panas pada *evaporator* (\dot{Q}_{evap}) dan pada *generator* (\dot{Q}_{gen}) yang akan mengakibatkan naiknya COP. Naiknya temperatur *inlet generator* akan membuat

nilai laju alir massa refrijeran semakin naik karena semakin banyak uap refrijeran yang dapat menguap dari *generator* yang mengakibatkan semakin banyak kalor yang bisa diserap dari lingkungan pada *evaporator* karena jumlah refrijeran yang lebih banyak. Fenomena inilah yang menyebabkan nilai COP semakin naik seiring dengan bertambahnya temperatur pada *inlet generator*. Selain itu dengan naiknya debit *thermal oil* akan membuat nilai laju alir massa refrijeran semakin turun karena semakin sedikit uap refrijeran yang dapat menguap dari *generator* yang mengakibatkan semakin sedikit kalor yang bisa diserap dari lingkungan pada *evaporator* karena jumlah refrijeran yang lebih sedikit. Hal ini dipengaruhi oleh nilai *effectiveness* pada *generator* yang cenderung turun seiring dengan naiknya debit *thermal oil*. Sehingga inilah yang menyebabkan nilai COP cenderung turun seiring dengan naiknya debit *thermal oil*.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan eksperimen terhadap mesin pendingin difusi absorpsi dengan pasangan R407F, R22-DMF menggunakan fluida *thermal oil* sebagai *heat generator* dengan tiga variasi debit dan tiga variasi temperatur *thermal oil* , maka dapat di ambil beberapa kesimpulan diantaranya adalah :

- A. Semakin tinggi temperatur *thermal oil*, maka :
 - Performa dari mesin pendingin difusi absorpsi akan semakin baik.
 - Nilai untuk laju perpindahan panas pada *generator*, kondensor dan *evaporator* akan semakin tinggi.
 - Nilai dari efisiensi *generator* dan nilai COP semakin meningkat.
- B. Semakin kecil debit fluida *thermal oil*, maka :
 - Performa dari mesin pendingin difusi absorpsi akan semakin baik.
 - Nilai untuk laju perpindahan panas pada *generator*, kondensor dan *evaporator* akan semakin tinggi.
 - Nilai dari efisiensi *generator* dan nilai COP semakin meningkat.
- C. Hasil unjuk kerja terbaik dari sistem difusi absorpsi ini yaitu nilai COP terbesar 0.60, Untuk nilai kapasitas pendinginan (\dot{Q}_{evap}) terbesar diperoleh sebesar 142,01 watt, laju perpindahan panas pada *generator* (\dot{Q}_{gen}) 235,42 watt, laju perpindahan panas pada kondensor 142,99 watt, laju alir massa refrijeran 0.00074 kg/s serta efisiensi *generator* 0,24 yang didapatkan pada temperatur *thermal oil* sebesar 130°C dan debit 6 liter/jam.

5.2 Saran

- A. Pelajari waktu steady pada mesin sehingga data yang diperoleh semakin baik.
- B. Sebaiknya dilakukan pengecekan keseluruhan pada seluruh sistem sebelum pengambilan data dilakukan, agar tidak mengurangi keakuratan data.
- C. Pengukuran laju aliran massa refrijeran secara aktual sehingga hasil perhitungan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Adianto, Angga Panca. 2013. **Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Debit Fluida *Engine Oil* Sebagai Heater Generator Terhadap Performansi Mesin Pendingin Difusi Absorpsi R22-DMF**. Surabaya: Tugas Akhir Teknik Mesin FTI-ITS.
- Agarwal. R. S & Bapat. S. L. 1982. **Solubility Characteristic of R22-DMF Refrigerant-Absorbent Combination**.
- Ambesa, Wilson. 2011. **Analisa Termodinamis performansi Mesin Pendingin Sistem Difusi Absorpsi Amonia-Air Dengan Variasi Panas Generator**. Surabaya: Tugas Akhir Teknik Mesin FTI-ITS.
- Aryanto, Denis. 2015. **Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Temperatur dan Debit *Thermal Oil* Sebagai Heater Generator Terhadap Performansi Mesin Pendingin Difusi Absorpsi R22-DMF**. Surabaya: Tugas Akhir Teknik Mesin FTI-ITS.
- Colonial Chemical. [Technical Data Sheet DMF - Colonial Chemical Solutions](http://colonialchemicals.com/uploads/Products/DMF/DMF_Tech.pdf) <URL: colonialchemicals.com/uploads/Products/DMF/DMF_Tech.pdf
- Fatouh. M & Srinivasa. S Murthy. 1992. **Comparison Of R22-Absorbent Pairs For Vapour Absorption Heat Transformers Based On P-T-X-H Data**. India: Indian Institute of Technology
- Himawan, Bobby. 2013. **Studi Eksperimen Variasi Laju Pendinginan Kondensor Pada Mesin Difusi Absorpsi R22-DMF**. Surabaya: Tugas Akhir Teknik Mesin FTI-ITS.
- Incopera, F. P. & Dewitt, D. P., 1996. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Sixth Edition**. New York : John Wiley and Sons inc.
- Lecce: Department of Engineering for Innovation, University of Salento.

Moran, Michael, J. & Shapiro. Howard. N. 1998.

Termodinamika Teknik - Edisi Keempat.

Diterjemahkan oleh Yulianto S. Nugroho. Jakarta: Penerbit Erlangga.

Riva'I, Mohammad. 2012. **Studi Eksperimen Mesin Pendingin Difusi Absorpsi R22-DMF Dengan Variasi Heater Generator.** Surabaya: Tugas Akhir Teknik Mesin FTI-ITS.

Samuel, Victor. 2010. **Refrigerasi Absorpsi.** Bandung : Institut Teknologi Bandung.

Starace. G & Pasalis. L. 2011. **An Advanced Analytical Model of The Diffusion Absorption Refrigerator Cycle.** Italy, *Wikipedia. Chlorodifluoromethane.*

<URL:en.wikipedia.org/wiki/Chlorodifluoromethane>

Wikipedia. Dimethylformamide.

<URL:en.wikipedia.org/wiki/Dimethylformamide>

A. Zohar, M. Jelinek, A. Levy, I. Borde. **The influence of diffusion absorption refrigeration cycle configuration on the performance.** Applied Thermal Engineering 27 (13) (2007) 2213e2219.

LAMPIRAN 1

TABEL 1 Sifat Refrijeran Cair Jenuh R22 (*Moran, 1998*)

| Temp. C | Press. bar | Specific Volume m ³ /kg | | Internal Energy kJ/kg | | Enthalpy kJ/kg | | | Entropy kJ/kg ^o K | | Temp. C |
|------------|---------------|---------------------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|----------------------|-------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------|------------|
| | | Sat. Liquid $v_f \cdot 10^3$ | Sat. Vapor v_g | Sat. Liquid u_f | Sat. Vapor u_g | Sat. Liquid h_f | Evap. h_{fg} | Sat. Vapor h_g | Sat. Liquid s_f | Sat. Vapor s_g | |
| | | | | | | | | | | | |
| 60 | 0.3749 | 0.6833 | 0.5370 | 21.57 | 203.67 | 21.55 | 245.35 | 223.81 | 0.0964 | 1.0547 | 60 |
| 50 | 0.6451 | 0.6966 | 0.3239 | 10.89 | 207.70 | 10.85 | 239.44 | 228.60 | 0.0474 | 1.0256 | 50 |
| 45 | 0.8290 | 0.7037 | 0.2564 | 5.50 | 209.70 | 5.44 | 236.39 | 230.95 | 0.0235 | 1.0126 | 45 |
| 40 | 1.0522 | 0.7109 | 0.2052 | 0.07 | 211.68 | 0.00 | 233.27 | 233.27 | 0.0000 | 1.0005 | 40 |
| 36 | 1.2627 | 0.7169 | 0.1730 | 4.29 | 213.25 | 4.38 | 230.71 | 235.09 | 0.0166 | 0.9914 | 36 |
| 32 | 1.5049 | 0.7231 | 0.1468 | 8.68 | 214.80 | 8.79 | 228.10 | 236.89 | 0.0369 | 0.9828 | 32 |
| 30 | 1.6989 | 0.7282 | 0.1355 | 10.88 | 215.58 | 11.00 | 226.77 | 237.78 | 0.0460 | 0.9787 | 30 |
| 28 | 1.7819 | 0.7294 | 0.1252 | 13.09 | 216.34 | 13.22 | 225.43 | 238.66 | 0.0551 | 0.9746 | 28 |
| 26 | 1.9345 | 0.7327 | 0.1159 | 15.31 | 217.11 | 15.45 | 224.08 | 239.53 | 0.0641 | 0.9707 | 26 |
| 22 | 2.2898 | 0.7393 | 0.0997 | 19.76 | 218.62 | 19.92 | 221.32 | 241.24 | 0.0819 | 0.9631 | 22 |
| 20 | 2.4534 | 0.7427 | 0.0926 | 21.99 | 219.37 | 22.17 | 219.91 | 242.09 | 0.0908 | 0.9595 | 20 |
| 18 | 2.6482 | 0.7462 | 0.0861 | 24.23 | 220.11 | 24.43 | 218.49 | 242.92 | 0.0996 | 0.9559 | 18 |
| 16 | 2.8547 | 0.7497 | 0.0802 | 26.48 | 220.85 | 26.69 | 217.05 | 243.74 | 0.1064 | 0.9525 | 16 |
| 14 | 3.0733 | 0.7533 | 0.0748 | 28.73 | 221.58 | 28.97 | 215.59 | 244.56 | 0.1171 | 0.9490 | 14 |
| 12 | 3.3044 | 0.7569 | 0.0698 | 31.00 | 222.30 | 31.25 | 214.11 | 245.36 | 0.1258 | 0.9457 | 12 |
| 10 | 3.5485 | 0.7606 | 0.0652 | 33.27 | 223.02 | 33.54 | 212.62 | 246.15 | 0.1345 | 0.9424 | 10 |
| 8 | 3.8062 | 0.7644 | 0.0610 | 35.54 | 223.73 | 35.83 | 211.10 | 246.93 | 0.1431 | 0.9392 | 8 |
| 6 | 4.0777 | 0.7683 | 0.0571 | 37.83 | 224.43 | 38.14 | 209.56 | 247.70 | 0.1517 | 0.9361 | 6 |
| 4 | 4.3638 | 0.7722 | 0.0535 | 40.12 | 225.13 | 40.46 | 208.00 | 248.45 | 0.1602 | 0.9330 | 4 |
| 2 | 4.6647 | 0.7762 | 0.0501 | 42.42 | 225.82 | 42.79 | 206.41 | 249.20 | 0.1688 | 0.9300 | 2 |
| 0 | 4.9811 | 0.7803 | 0.0470 | 44.73 | 226.50 | 45.12 | 204.81 | 249.92 | 0.1773 | 0.9271 | 0 |
| 2 | 5.3133 | 0.7844 | 0.0442 | 47.04 | 227.17 | 47.46 | 203.18 | 250.64 | 0.1857 | 0.9241 | 2 |
| 4 | 5.6619 | 0.7887 | 0.0415 | 49.37 | 227.83 | 49.82 | 201.52 | 251.34 | 0.1941 | 0.9213 | 4 |
| 6 | 6.0275 | 0.7930 | 0.0394 | 51.71 | 228.48 | 52.18 | 199.84 | 252.03 | 0.2025 | 0.9184 | 6 |
| 8 | 6.4105 | 0.7974 | 0.0368 | 54.05 | 229.13 | 54.56 | 198.14 | 252.70 | 0.2109 | 0.9157 | 8 |
| 10 | 6.8113 | 0.8020 | 0.0346 | 56.40 | 229.76 | 56.95 | 196.40 | 253.35 | 0.2193 | 0.9129 | 10 |
| 12 | 7.2307 | 0.8066 | 0.0326 | 58.77 | 230.38 | 59.35 | 194.64 | 253.99 | 0.2276 | 0.9102 | 12 |
| 16 | 8.1268 | 0.8162 | 0.0291 | 63.53 | 231.59 | 64.19 | 191.02 | 255.21 | 0.2442 | 0.9048 | 16 |
| 20 | 9.1030 | 0.8263 | 0.0259 | 68.33 | 232.76 | 69.09 | 187.28 | 256.37 | 0.2607 | 0.8996 | 20 |
| 24 | 10.164 | 0.8369 | 0.0232 | 73.19 | 233.87 | 74.04 | 183.40 | 257.44 | 0.2772 | 0.8944 | 24 |
| 28 | 11.313 | 0.8480 | 0.0208 | 78.09 | 234.92 | 79.05 | 179.37 | 258.43 | 0.2936 | 0.8893 | 28 |
| 32 | 12.556 | 0.8599 | 0.0186 | 83.06 | 235.91 | 84.14 | 175.18 | 259.32 | 0.3101 | 0.8842 | 32 |
| 36 | 13.897 | 0.8724 | 0.0168 | 88.08 | 236.83 | 89.29 | 170.82 | 260.11 | 0.3265 | 0.8790 | 36 |
| 40 | 15.341 | 0.8858 | 0.0151 | 93.18 | 237.66 | 94.53 | 166.25 | 260.79 | 0.3429 | 0.8738 | 40 |
| 45 | 17.298 | 0.9039 | 0.0132 | 99.85 | 238.59 | 101.21 | 160.24 | 261.46 | 0.3635 | 0.8672 | 45 |
| 50 | 19.433 | 0.9238 | 0.0116 | 106.26 | 239.34 | 108.06 | 153.84 | 261.90 | 0.3842 | 0.8603 | 50 |
| 60 | 24.281 | 0.9705 | 0.0089 | 120.00 | 240.24 | 122.35 | 138.61 | 261.96 | 0.4264 | 0.8455 | 60 |

TABEL 2 Sifat Uap-Panas Lanjut R22 (*Moran, 1998*)

| T °C | v m ³ /kg | u kJ/kg | h kJ/kg | s kJ/kg·K | v m ³ /kg | u kJ/kg | h kJ/kg | s kJ/kg·K | |
|---|---------------------------|--------------|--------------|----------------|---|--------------|--------------|----------------|--|
| p 12.0 bar 1.20 MPa (T_{sat} 30.25°C) | | | | | p 14.0 bar 1.40 MPa (T_{sat} 36.29°C) | | | | |
| Sat. | 0.01955 | 235.48 | 258.94 | 0.8864 | 0.01662 | 236.89 | 260.16 | 0.8786 | |
| 40 | 0.02083 | 242.63 | 267.62 | 0.9146 | 0.01708 | 239.78 | 263.70 | 0.8900 | |
| 50 | 0.02204 | 249.69 | 276.14 | 0.9413 | 0.01823 | 247.29 | 272.81 | 0.9106 | |
| 60 | 0.02319 | 256.60 | 284.43 | 0.9666 | 0.01929 | 254.52 | 281.53 | 0.9452 | |
| 70 | 0.02428 | 263.44 | 292.58 | 0.9907 | 0.02029 | 261.60 | 290.01 | 0.9703 | |
| 80 | 0.02534 | 270.25 | 300.86 | 1.0139 | 0.02125 | 268.60 | 298.34 | 0.9942 | |
| 90 | 0.02636 | 277.07 | 308.70 | 1.0363 | 0.02217 | 275.56 | 306.60 | 1.0172 | |
| 100 | 0.02738 | 283.90 | 316.73 | 1.0582 | 0.02306 | 282.52 | 314.80 | 1.0395 | |
| 110 | 0.02834 | 290.77 | 324.78 | 1.0794 | 0.02393 | 289.49 | 323.00 | 1.0612 | |
| 120 | 0.02930 | 297.69 | 332.85 | 1.1002 | 0.02478 | 296.50 | 331.19 | 1.0823 | |
| 130 | 0.03024 | 304.65 | 340.95 | 1.1205 | 0.02562 | 303.55 | 339.41 | 1.1029 | |
| 140 | 0.03118 | 311.68 | 349.09 | 1.1405 | 0.02644 | 310.64 | 347.65 | 1.1231 | |
| 150 | 0.03210 | 318.77 | 357.28 | 1.1601 | 0.02725 | 317.79 | 355.94 | 1.1429 | |
| 160 | 0.03301 | 325.92 | 365.54 | 1.1793 | 0.02805 | 324.99 | 364.26 | 1.1624 | |
| 170 | 0.03392 | 333.14 | 373.84 | 1.1983 | 0.02884 | 332.26 | 372.64 | 1.1815 | |
| p 16.0 bar 1.60 MPa (T_{sat} 41.73°C) | | | | | p 18.0 bar 1.80 MPa (T_{sat} 46.69°C) | | | | |
| Sat. | 0.01440 | 238.00 | 261.04 | 0.8715 | 0.01265 | 236.86 | 261.64 | 0.8649 | |
| 50 | 0.01533 | 244.86 | 269.18 | 0.8971 | 0.01301 | 241.72 | 265.14 | 0.8758 | |
| 60 | 0.01634 | 252.29 | 276.43 | 0.9252 | 0.01401 | 249.86 | 275.09 | 0.9061 | |
| 70 | 0.01728 | 259.65 | 287.30 | 0.9515 | 0.01492 | 257.57 | 284.43 | 0.9337 | |
| 80 | 0.01817 | 266.86 | 295.93 | 0.9762 | 0.01576 | 265.04 | 293.40 | 0.9595 | |
| 90 | 0.01901 | 274.00 | 304.42 | 0.9999 | 0.01655 | 272.37 | 302.16 | 0.9839 | |
| 100 | 0.01983 | 281.09 | 312.82 | 1.0228 | 0.01731 | 279.62 | 310.77 | 1.0073 | |
| 110 | 0.02062 | 288.18 | 321.17 | 1.0448 | 0.01804 | 286.83 | 319.30 | 1.0299 | |
| 120 | 0.02139 | 295.28 | 329.51 | 1.0663 | 0.01874 | 294.04 | 327.78 | 1.0517 | |
| 130 | 0.02214 | 302.41 | 337.84 | 1.0872 | 0.01943 | 301.26 | 336.24 | 1.0730 | |
| 140 | 0.02288 | 309.58 | 346.19 | 1.1077 | 0.02011 | 308.50 | 344.70 | 1.0937 | |
| 150 | 0.02361 | 316.79 | 354.56 | 1.1277 | 0.02077 | 315.78 | 353.17 | 1.1139 | |
| 160 | 0.02432 | 324.05 | 362.97 | 1.1473 | 0.02142 | 323.10 | 361.66 | 1.1338 | |
| 170 | 0.02503 | 331.37 | 371.42 | 1.1666 | 0.02207 | 330.47 | 370.19 | 1.1532 | |
| p 20.0 bar 2.00 MPa (T_{sat} 51.26°C) | | | | | p 24.0 bar 2.4 MPa (T_{sat} 59.46°C) | | | | |
| Sat. | 0.01124 | 239.51 | 261.98 | 0.8586 | 0.00907 | 240.22 | 261.99 | 0.8463 | |
| 60 | 0.01212 | 247.20 | 271.43 | 0.8873 | 0.00913 | 240.76 | 262.66 | 0.8484 | |
| 70 | 0.01300 | 255.35 | 281.36 | 0.9167 | 0.01006 | 250.30 | 274.43 | 0.8831 | |
| 80 | 0.01381 | 263.12 | 290.74 | 0.9436 | 0.01085 | 258.89 | 284.93 | 0.9133 | |
| 90 | 0.01457 | 270.67 | 299.80 | 0.9689 | 0.01156 | 267.01 | 294.75 | 0.9407 | |
| 100 | 0.01528 | 278.09 | 308.66 | 0.9929 | 0.01222 | 274.85 | 304.18 | 0.9663 | |
| 110 | 0.01596 | 285.44 | 317.37 | 1.0160 | 0.01284 | 282.63 | 313.36 | 0.9906 | |
| 120 | 0.01663 | 292.76 | 326.01 | 1.0383 | 0.01343 | 290.11 | 322.35 | 1.0137 | |
| 130 | 0.01727 | 300.06 | 334.61 | 1.0598 | 0.01400 | 297.64 | 331.25 | 1.0361 | |
| 140 | 0.01789 | 307.40 | 343.19 | 1.0808 | 0.01458 | 305.14 | 340.08 | 1.0577 | |
| 150 | 0.01850 | 314.75 | 351.76 | 1.1013 | 0.01509 | 312.64 | 348.87 | 1.0787 | |
| 160 | 0.01910 | 322.14 | 360.34 | 1.1214 | 0.01562 | 320.18 | 357.64 | 1.0992 | |
| 170 | 0.01969 | 329.56 | 368.95 | 1.1410 | 0.01613 | 327.70 | 366.41 | 1.1192 | |
| 180 | 0.02027 | 337.03 | 377.58 | 1.1603 | 0.01663 | 335.27 | 375.20 | 1.1388 | |

Tabel 3 Koefisien pada campuran

| Pair | K_0 | K_1 | K_2 | K_3 |
|------------|--|--|--|------------------------------|
| R23-DMP | $B_0/T^3 + 2 \cdot C_0/T^2 - E_0/T^3 + E_2 + E_3/T$ | $-B_1/T^3 + 2 \cdot C_1/T^2$ | $B_2/T^3 + 2 \cdot C_2/T^2$ | 0.0 |
| R23-DNETEG | $-B_0 - 3 \cdot C_0/T - E_1/T^2 + E_2 + E_3/T$ | $-B_1 - 3 \cdot C_1/T$ | $-B_2 - 3 \cdot C_2/T$ | $-B_3 - 2 \cdot C_3 \cdot T$ |
| R23-NMP | $-B_0 + 0.0 - E_1/T^2 + E_2 + E_3/T$ | $-B_1 - 3 \cdot C_1 \cdot T$ | $-B_2 - 3 \cdot C_2 \cdot T^2$ | $-3 \cdot C_3 \cdot T^3$ |
| R23-DTRG | $-D_0/T - 3 \cdot B_0 \cdot T - E_1/T^2 + E_2 + E_3/T$ | $-D_1/T - 3 \cdot B_1 \cdot T$ | $-D_2/T - 3 \cdot B_2 \cdot T$ | 0.0 |
| R23-DNA | $-2 \cdot A_0 \cdot T + 0.0 - E_1/T^2 + E_2 + E_3/T$ | $-2 \cdot A_1 \cdot T - 3 \cdot C_1 \cdot T$ | $-2 \cdot A_2 \cdot T - 3 \cdot C_2 \cdot T$ | $-3 \cdot C_3 \cdot T^3$ |
| R23-DMEDEG | $A_0/T - D_0/T - E_1/T^2 + E_2 + E_3/T$ | $+B_1/T^3 - D_1/T$ | $+B_2/T^3 - D_2/T$ | $A_3/T^3 - D_3/T$ |

Table 4 Koefisien hubunguan P-T-X pada campuran

| Comp | R22-DMEF | R22-DMETHG | R22-DMEDEG | R22-SMAD | R22-DMEFHEG | R22-DMA |
|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| A ₁ | 0.697409E + 01 | -0.303319E + 02 | -0.326671E + 02 | -0.112604E + 03 | -0.6940237E + 02 | -0.5599224E + 01 |
| A ₂ | 0.1167437E + 02 | 0.3113501E + 02 | 0.6359322E + 03 | -0.2166081E + 02 | 0.0 | -0.2005962E + 01 |
| A ₃ | 0.1247122E + 02 | 0.2443323E + 01 | -0.3599833E + 01 | 0.2154109E + 02 | 0.0 | -0.2879817E + 00 |
| A ₄ | 0.0 | 0.2260463E + 01 | -0.1133981E + 02 | 0.0 | 0.2815907E + 02 | 0.0 |
| A ₅ | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.1095630E + 02 | 0.0 |
| B ₁ | -0.1817206E + 04 | 0.1648396E + 00 | -0.5232605E + 04 | 0.3327214E + 01 | -0.2971306E + 04 | 0.4063937E + 04 |
| B ₂ | -0.6202579E + 04 | -0.3501043E + 01 | -0.3304677E + 03 | 0.1572285E + 00 | -0.2334000E + 04 | 0.2548799E + 02 |
| B ₃ | 0.9871514E + 04 | -0.3733910E + 01 | 0.581143E + 04 | 0.1638126E + 06 | 0.2402358E + 04 | -0.1145394E + 04 |
| B ₄ | 0.0 | 0.715344E + 02 | -0.3811664E + 04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| C ₁ | -0.135838E + 06 | -0.1901407E + 01 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| C ₂ | 0.023797E + 00 | 0.7757960E + 04 | 0.0 | -0.5826724E + 06 | 0.0 | -0.6933675E + 04 |
| C ₃ | -0.143346E + 07 | 0.2816654E + 04 | 0.0 | 0.8310910E + 06 | 0.0 | -0.4429627E + 07 |
| C ₄ | 0.0 | 0.1403223E + 04 | 0.0 | -0.184109E + 07 | 0.0 | 0.032973E + 00 |
| D ₁ | 0.0 | 0.0 | -0.6833465E + 01 | 0.0 | 0.1678371E + 02 | 0.0 |
| D ₂ | 0.0 | 0.0 | 0.1756632E + 01 | 0.0 | 0.294709E + 01 | 0.0 |
| D ₃ | 0.0 | 0.0 | -0.357347E + 01 | 0.0 | -0.4442827E + 01 | 0.0 |
| D ₄ | 0.0 | 0.0 | 0.0241801E + 01 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| E | -1.0 | 1.0 | -1.0 | 1.0 | 2.0 | 2.0 |
| F | -2.0 | 2.0 | 0.0 | 3.0 | 0.0 | 3.0 |
| T _R | 310.394 | 273.167 | 273.373 | 273.373 | 283.193 | 293.373 |
| Z _R | 0.2401 | 0.210 | 0.160.85 | 0.210 | 0.210 | 0.210.88 |
| P _R | 0.07800 | 0.06860 | 0.07509 | 0.07250 | 0.0750 | 0.07160 |
| CC | 0.999 | 0.996 | 0.999 | 0.999 | 0.999 | 0.999 |
| N _{ITER} | 2.112 | 1.440 | 2.204 | 2.099 | 2.297 | 3.0273 |

Tabel 5 Koefisien untuk *enthalpy* cair jenuh pada DMF

| Coeff. | DMF | DMETEG | NMP | DMETEG | DMA |
|--------|------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| F_0 | $-0.3522493E+03$ | $0.2333408E+03$ | $-0.2523563E+03$ | $-6.4153019E+02$ | $-0.3438173E+03$ |
| F_1 | $0.1317081E+01$ | $0.1299057E-01$ | $0.5247983E+00$ | $6.1720011E+01$ | $0.1301647E+01$ |
| F_2 | $0.1239553E-02$ | $0.1029308E-02$ | $-0.1340178E-02$ | $8.4089064E-03$ | $0.1182902E-02$ |
| C/C | 1.00001 | 1.00001 | 1.00000 | 1.00002 | 1.00001 |
| %Error | 0.00156 | 0.02417 | 0.01709 | 0.00880 | 0.00101 |

Reference enthalpy = 1000 kJ kg^{-1} for liquid at 273.15 K.Tabel 6 Koefisien untuk *enthalpy* cair jenuh dan uap jenuh

| Coeff. | Saturated liquid | | Saturated vapour | |
|--------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| F_0 | $-0.6814640E+02$ | $0.1956664E+04$ | $0.3722971E+02$ | $-0.2720182E+04$ |
| F_1 | $0.0631300E+00$ | $-0.1209784E+02$ | $0.1599520E+01$ | $-0.1811784E+02$ |
| F_2 | $0.0020200E+00$ | $0.2018352E-01$ | $-0.2260308E-02$ | $-0.2699451E-01$ |
| TR | 253.15:323.15 | | 323.15:366.15 | |
| C/C | 0.998 | 0.997 | 0.998 | 0.977 |
| %Error | 0.376 | 0.436 | 0.037 | 0.455 |

Reference enthalpy = 100 kJ kg^{-1} for liquid at 273.15 K.

LAMPIRAN 2

Tabel 1. Pengambilan Data Debit 6L/Jam

| No | T Heater | Waktu | T _{IG} | T _{OG} | T ₁ | T ₂ | T ₃ | T ₄ | T ₅ | T ₆ | T ₇ | T ₈ | P ₁ | P ₂ | P ₃ | T _{U1} | T _{UO} |
|----|----------|-------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 90 | 0' | 82.4 | 70.1 | 32.4 | 37.8 | 52.3 | 71.4 | 29.7 | 19.5 | 25.6 | 32.4 | 12.3 | 12.3 | 12.4 | 26.4 | 27.2 |
| 2 | 90 | 30' | 82.5 | 70.4 | 33.1 | 37.9 | 52.4 | 71.4 | 29.8 | 19.5 | 25.7 | 31.7 | 12.4 | 12.4 | 12.4 | 26.4 | 27.3 |
| 3 | 90 | 60' | 82.4 | 70.3 | 33.2 | 37.7 | 52.6 | 71.8 | 29.7 | 19.6 | 25.8 | 31.4 | 12.3 | 12.4 | 12.3 | 26.3 | 27.3 |
| 4 | 90 | 90' | 83.1 | 70.2 | 33.2 | 37.8 | 52.3 | 71.9 | 29.9 | 18.5 | 24.8 | 31.4 | 12.0 | 12.1 | 12.1 | 26.2 | 27.4 |
| 5 | 90 | 120' | 82.9 | 70.4 | 33.5 | 37.6 | 52.5 | 72.1 | 29.6 | 18.5 | 24.8 | 30.6 | 12.0 | 12.1 | 12.2 | 26.5 | 27.4 |
| 6 | 90 | 150' | 83.1 | 70.3 | 33.5 | 37.5 | 52.6 | 72.4 | 29.7 | 17.8 | 24.7 | 31.2 | 12.1 | 12.4 | 12.1 | 26.2 | 27.5 |
| 7 | 90 | 180' | 82.9 | 70.2 | 33.6 | 37.5 | 52.4 | 72.3 | 29.8 | 18.1 | 24.6 | 31.3 | 12.2 | 12.4 | 12.3 | 26.3 | 27.5 |
| 8 | 110 | 0' | 99.5 | 83.4 | 35.6 | 39.5 | 55.5 | 75.1 | 31.3 | 18.3 | 24.6 | 31.5 | 12.5 | 12.3 | 12.4 | 26.1 | 27.4 |
| 9 | 110 | 30' | 99.5 | 83.4 | 35.7 | 39.6 | 55.6 | 76.1 | 30.2 | 18.5 | 24.7 | 31.6 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 26.1 | 27.3 |
| 10 | 110 | 60' | 99.6 | 83.6 | 35.6 | 39.5 | 55.9 | 76.2 | 31.3 | 19.1 | 24.9 | 32.3 | 12.4 | 12.3 | 12.4 | 26.4 | 27.3 |
| 11 | 110 | 90' | 99.4 | 83.7 | 35.8 | 39.7 | 55.5 | 76.2 | 30.2 | 18.4 | 23.8 | 32.6 | 12.5 | 12.3 | 12.5 | 26.3 | 27.5 |
| 12 | 110 | 120' | 99.7 | 83.5 | 35.4 | 39.8 | 55.8 | 76.5 | 30.3 | 18.4 | 24.7 | 30.1 | 12.4 | 12.4 | 12.6 | 26.5 | 27.4 |
| 13 | 110 | 150' | 100.1 | 83.5 | 35.5 | 39.6 | 55.8 | 76.5 | 30.3 | 18.6 | 23.7 | 31.6 | 12.3 | 12.5 | 12.4 | 26.4 | 27.4 |
| 14 | 110 | 180' | 100.3 | 83.8 | 35.3 | 39.5 | 55.8 | 76.7 | 30.4 | 18.8 | 23.9 | 31.7 | 12.1 | 12.3 | 12.5 | 26.3 | 27.4 |
| 15 | 130 | 0' | 121.4 | 99.2 | 36.5 | 43.2 | 58.4 | 80.1 | 35.6 | 17.7 | 22.5 | 31.8 | 12.5 | 12.5 | 12.3 | 26.1 | 27.5 |
| 16 | 130 | 30' | 120.5 | 99.3 | 36.5 | 43.3 | 58.6 | 79.2 | 35.8 | 16.4 | 22.4 | 32.5 | 12.7 | 12.4 | 12.5 | 26.1 | 27.7 |
| 17 | 130 | 60' | 120.5 | 99.4 | 36.4 | 43.7 | 58.6 | 79.3 | 35.8 | 17.7 | 22.6 | 32.4 | 12.6 | 12.5 | 12.4 | 26.2 | 27.5 |
| 18 | 130 | 90' | 120.6 | 99.3 | 36.9 | 43.7 | 58.7 | 80.2 | 35.7 | 17.8 | 23.2 | 31.6 | 12.6 | 12.3 | 12.6 | 26.2 | 27.6 |
| 19 | 130 | 120' | 120.7 | 99.3 | 36.8 | 43.3 | 58.5 | 80.5 | 35.9 | 18.1 | 23.4 | 31.7 | 12.7 | 12.5 | 12.5 | 26.4 | 27.4 |
| 20 | 130 | 150' | 120.6 | 99.5 | 36.5 | 43.1 | 58.7 | 80.6 | 35.8 | 18.2 | 23.5 | 32.1 | 12.8 | 12.6 | 12.7 | 26.5 | 27.3 |
| 21 | 130 | 180' | 120.4 | 99.6 | 36.6 | 43.2 | 58.6 | 80.5 | 35.7 | 17.6 | 23.7 | 32.2 | 12.8 | 12.5 | 12.3 | 26.4 | 27.3 |

Tabel 2. Pengambilan Data Debit 8L/Jam

| No | T Heater | Waktu | T _{KG} | T _{OG} | T ₁ | T ₂ | T ₃ | T ₄ | T ₅ | T ₆ | T ₇ | T ₈ | P ₁ | P ₂ | P ₃ | T _{U1} | T _{UO} |
|----|----------|-------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 90 | 0' | 75.3 | 67.5 | 31.8 | 36.8 | 46.2 | 68.2 | 27.3 | 19.5 | 25.1 | 32.3 | 12.2 | 12.3 | 12.3 | 26.5 | 27.4 |
| 2 | 90 | 30' | 75.4 | 67.5 | 31.8 | 36.8 | 46.5 | 68.3 | 27.6 | 19.6 | 25.2 | 31.6 | 12.1 | 12.3 | 12.4 | 26.5 | 27.5 |
| 3 | 90 | 60' | 75.6 | 67.8 | 31.9 | 36.9 | 46.5 | 68.5 | 27.6 | 19.6 | 25.4 | 31.7 | 12.3 | 12.1 | 12.2 | 26.5 | 27.0 |
| 4 | 90 | 90' | 75.7 | 67.9 | 32.0 | 36.8 | 46.6 | 68.6 | 27.9 | 19.8 | 25.6 | 31.7 | 12.4 | 12.4 | 12.1 | 26.4 | 27.3 |
| 5 | 90 | 120' | 75.8 | 67.8 | 32.2 | 36.9 | 46.7 | 68.6 | 27.8 | 19.8 | 25.6 | 31.9 | 12.4 | 12.2 | 12.1 | 26.4 | 27.2 |
| 6 | 90 | 150' | 75.8 | 67.9 | 32.2 | 37.0 | 46.9 | 68.8 | 27.9 | 20.0 | 25.8 | 31.9 | 12.2 | 12.3 | 12.3 | 26.3 | 27.1 |
| 7 | 90 | 180' | 76.0 | 70.0 | 32.3 | 37.1 | 47.0 | 68.8 | 27.9 | 20.0 | 25.8 | 31.9 | 12.3 | 12.4 | 12.3 | 26.3 | 27.5 |
| 8 | 110 | 0' | 93.3 | 82.0 | 34.8 | 37.3 | 49.5 | 71.3 | 29.4 | 20.1 | 26.2 | 31.5 | 12.4 | 12.5 | 12.5 | 26.5 | 27.3 |
| 9 | 110 | 30' | 93.3 | 82.3 | 34.8 | 37.5 | 49.5 | 71.4 | 29.5 | 20.1 | 26.0 | 31.6 | 12.5 | 12.4 | 12.5 | 26.4 | 27.4 |
| 10 | 110 | 60' | 93.5 | 82.3 | 34.9 | 37.5 | 49.4 | 71.6 | 29.5 | 20.4 | 24.9 | 31.8 | 12.3 | 12.4 | 12.4 | 26.5 | 27.3 |
| 11 | 110 | 90' | 93.6 | 82.4 | 35.1 | 38.0 | 49.6 | 71.7 | 29.6 | 20.4 | 26.3 | 31.9 | 12.4 | 12.3 | 12.5 | 26.6 | 27.5 |
| 12 | 110 | 120' | 93.7 | 82.3 | 35.2 | 38.3 | 49.6 | 71.7 | 29.7 | 20.7 | 26.4 | 40.0 | 12.4 | 12.4 | 12.6 | 26.5 | 27.3 |
| 13 | 110 | 150' | 93.9 | 82.4 | 35.8 | 38.5 | 49.7 | 71.9 | 29.9 | 20.8 | 26.5 | 31.8 | 12.2 | 12.5 | 12.5 | 26.3 | 27.5 |
| 14 | 110 | 180' | 94.1 | 82.3 | 36.0 | 38.8 | 49.8 | 71.8 | 30.1 | 20.9 | 26.5 | 31.8 | 12.3 | 12.5 | 12.5 | 26.4 | 27.4 |
| 15 | 130 | 0' | 115.1 | 100.0 | 36.2 | 40.1 | 53.4 | 75.2 | 31.1 | 20.8 | 25.2 | 31.7 | 12.6 | 12.5 | 12.7 | 26.5 | 27.3 |
| 16 | 130 | 30' | 115.3 | 100.3 | 36.0 | 40.4 | 53.3 | 75.3 | 31.3 | 20.8 | 25.2 | 31.5 | 12.6 | 12.6 | 12.5 | 26.3 | 27.3 |
| 17 | 130 | 60' | 115.4 | 100.3 | 36.1 | 40.5 | 53.4 | 75.5 | 31.3 | 20.9 | 25.5 | 31.6 | 12.5 | 12.7 | 12.5 | 26.3 | 27.4 |
| 18 | 130 | 90' | 115.6 | 100.4 | 36.1 | 40.7 | 53.6 | 75.5 | 31.5 | 21.0 | 25.6 | 31.8 | 12.7 | 12.8 | 12.6 | 26.4 | 27.5 |
| 19 | 130 | 120' | 115.6 | 100.6 | 36.0 | 40.7 | 53.6 | 75.6 | 31.5 | 21.0 | 25.7 | 32.0 | 12.6 | 12.8 | 12.7 | 26.5 | 27.6 |
| 20 | 130 | 150' | 115.7 | 100.6 | 36.0 | 40.8 | 53.7 | 75.6 | 31.6 | 21.2 | 25.9 | 32.0 | 12.6 | 12.7 | 12.7 | 26.6 | 27.5 |
| 21 | 130 | 180' | 115.9 | 100.7 | 36.2 | 40.9 | 53.8 | 75.8 | 31.8 | 21.2 | 26.0 | 32.4 | 12.7 | 12.7 | 12.7 | 26.7 | 27.4 |

Tabel 3. Pengambilan Data Debit 10L/Jam

| No | T Heater | Waktu | T _{IG} | T _{OG} | T ₁ | T ₂ | T ₃ | T ₄ | T ₅ | T ₆ | T ₇ | T ₈ | P ₁ | P ₂ | P ₃ | T _{UI} | T _{UO} |
|----|----------|-------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 90 | 0' | 69.5 | 65.7 | 31.5 | 34.6 | 43.4 | 63.7 | 26.1 | 22.2 | 27.6 | 31.0 | 12.7 | 12.6 | 12.5 | 26.8 | 27.2 |
| 2 | 90 | 30' | 69.5 | 65.4 | 31.9 | 34.7 | 43.6 | 63.8 | 26.2 | 22.1 | 27.4 | 31.0 | 12.6 | 12.6 | 12.5 | 26.8 | 27.5 |
| 3 | 90 | 60' | 69.2 | 65.0 | 31.8 | 34.7 | 43.7 | 63.3 | 26.5 | 22.0 | 27.5 | 30.9 | 12.6 | 12.5 | 12.5 | 26.7 | 27.5 |
| 4 | 90 | 90' | 68.7 | 65.1 | 32.2 | 35.1 | 43.9 | 63.0 | 26.3 | 22.1 | 27.0 | 30.8 | 12.4 | 12.5 | 12.5 | 26.7 | 27.6 |
| 5 | 90 | 120' | 69.0 | 64.9 | 32.1 | 35.3 | 44.0 | 62.9 | 26.0 | 22.4 | 27.2 | 30.7 | 12.5 | 12.6 | 12.4 | 26.7 | 27.4 |
| 6 | 90 | 150' | 69.1 | 64.7 | 32.4 | 35.6 | 44.2 | 62.9 | 25.9 | 22.4 | 27.4 | 31.0 | 12.6 | 12.7 | 12.6 | 26.8 | 27.5 |
| 7 | 90 | 180' | 69.2 | 64.9 | 32.4 | 35.9 | 44.2 | 62.8 | 26.4 | 22.5 | 27.5 | 31.1 | 12.8 | 12.9 | 12.8 | 26.7 | 27.8 |
| 8 | 110 | 0' | 87.1 | 81.2 | 33.5 | 36.9 | 47.3 | 66.2 | 26.4 | 21.8 | 26.9 | 30.4 | 12.5 | 12.7 | 12.6 | 26.5 | 27.7 |
| 9 | 110 | 30' | 86.9 | 81.3 | 33.6 | 36.9 | 47.6 | 66.3 | 26.6 | 22.0 | 27.3 | 30.4 | 12.3 | 12.5 | 12.6 | 26.5 | 27.5 |
| 10 | 110 | 60' | 86.4 | 81.5 | 33.9 | 37.2 | 47.5 | 66.7 | 26.7 | 22.1 | 27.4 | 30.5 | 12.2 | 12.3 | 12.3 | 26.4 | 27.3 |
| 11 | 110 | 90' | 86.5 | 81.4 | 34.0 | 37.3 | 47.8 | 66.9 | 26.8 | 22.3 | 27.3 | 30.5 | 12.0 | 12.1 | 12.0 | 26.4 | 27.2 |
| 12 | 110 | 120' | 86.9 | 81.4 | 34.4 | 37.6 | 47.9 | 66.9 | 26.6 | 22.4 | 27.5 | 30.8 | 12.1 | 12.0 | 12.1 | 26.4 | 27.1 |
| 13 | 110 | 150' | 85.8 | 81.3 | 34.4 | 37.9 | 48.0 | 67.2 | 26.4 | 22.7 | 27.6 | 30.7 | 12.4 | 12.4 | 12.5 | 26.5 | 27.1 |
| 14 | 110 | 180' | 86.1 | 81.5 | 34.5 | 38.3 | 48.0 | 67.3 | 26.2 | 22.8 | 27.8 | 30.8 | 12.4 | 12.3 | 12.4 | 26.5 | 27.2 |
| 15 | 130 | 0' | 108.2 | 100.2 | 35.8 | 39.2 | 49.1 | 70.8 | 27.7 | 23.0 | 26.2 | 30.8 | 12.3 | 12.3 | 12.4 | 26.4 | 27.2 |
| 16 | 130 | 30' | 107.9 | 100.5 | 35.8 | 39.3 | 49.0 | 70.8 | 27.6 | 22.9 | 26.1 | 31.0 | 12.6 | 12.8 | 12.8 | 26.4 | 27.2 |
| 17 | 130 | 60' | 108.0 | 99.9 | 35.9 | 39.5 | 49.1 | 70.6 | 27.8 | 22.7 | 26.3 | 31.1 | 12.7 | 12.8 | 12.7 | 26.3 | 27.3 |
| 18 | 130 | 90' | 107.5 | 100.1 | 35.9 | 39.6 | 48.9 | 70.7 | 27.9 | 22.7 | 26.5 | 30.9 | 12.8 | 12.8 | 12.8 | 26.4 | 27.3 |
| 19 | 130 | 120' | 108.0 | 99.7 | 40.1 | 39.7 | 49.2 | 71.0 | 27.9 | 22.4 | 26.5 | 30.8 | 12.9 | 12.8 | 12.9 | 26.3 | 27.3 |
| 20 | 130 | 150' | 108.3 | 99.5 | 40.1 | 39.7 | 49.2 | 71.3 | 27.8 | 22.5 | 26.7 | 30.5 | 12.8 | 12.8 | 12.7 | 26.4 | 27.4 |
| 21 | 130 | 180' | 108.5 | 99.8 | 40.2 | 39.8 | 49.4 | 71.4 | 27.6 | 22.6 | 26.7 | 30.9 | 12.8 | 12.8 | 12.8 | 26.3 | 27.3 |

Tabel 4. Perhitungan Data Debit 6L/Jam

| m R12 (gr) | m DMF (gr) | X _{S1} | T ₁ (K) | T ₂ (K) | P (bar) | X _{m1} | Strong Solution | | | | Weak Solution | | | | F ₁ | | F ₂ | | F ₃ | | F ₄ | |
|------------------|------------------|-----------------|--------------------|--------------------|------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | | | | | K ₁ | K ₂ | K ₃ | K ₄ | K ₁ | K ₂ | K ₃ | K ₄ | S ₁ | W ₁ | S ₂ | W ₂ | S ₃ | W ₃ | S ₄ | W ₄ |
| 480 | 320 | 0.60 | 310.95 | 344.35 | 12.33 | 0.51 | -0.00337 | -0.00287 | 0.00667 | 0 | -0.00143 | -0.00565 | 0.01302 | 0 | 1.5 | 1.04082 | 0.58371 | 0.32747 | 0.26742 | 0.12412 | 0.13113 | 0.43077 |
| 480 | 320 | 0.60 | 311.05 | 344.35 | 12.40 | 0.51 | -0.00336 | -0.00289 | 0.00669 | 0 | -0.00143 | -0.00565 | 0.01302 | 0 | 1.5 | 1.04082 | 0.58371 | 0.32747 | 0.26742 | 0.12412 | 0.13113 | 0.43077 |
| 480 | 320 | 0.60 | 310.85 | 344.95 | 12.38 | 0.51 | -0.00337 | -0.00286 | 0.00664 | 0 | -0.00140 | -0.00567 | 0.01307 | 0 | 1.5 | 1.04082 | 0.58371 | 0.32747 | 0.26742 | 0.12412 | 0.13115 | 0.43077 |
| 480 | 320 | 0.60 | 310.95 | 345.05 | 12.07 | 0.51 | -0.00337 | -0.00287 | 0.00667 | 0 | -0.00140 | -0.00568 | 0.01308 | 0 | 1.5 | 1.04082 | 0.58371 | 0.32747 | 0.26742 | 0.12412 | 0.13113 | 0.43077 |
| 480 | 320 | 0.80 | 310.75 | 345.25 | 12.10 | 0.51 | -0.00338 | -0.00285 | 0.00661 | 0 | -0.00138 | -0.00569 | 0.01310 | 0 | 1.5 | 1.04082 | 0.58371 | 0.32747 | 0.26742 | 0.12412 | 0.13115 | 0.43077 |
| 480 | 320 | 0.60 | 310.65 | 345.55 | 12.20 | 0.51 | -0.00338 | -0.00284 | 0.00659 | 0 | -0.00136 | -0.00570 | 0.01314 | 0 | 1.5 | 1.04082 | 0.58371 | 0.32747 | 0.26742 | 0.12412 | 0.13115 | 0.43077 |
| 480 | 320 | 0.60 | 310.65 | 345.45 | 12.30 | 0.51 | -0.00338 | -0.00284 | 0.00659 | 0 | -0.00137 | -0.00570 | 0.01313 | 0 | 1.5 | 1.04082 | 0.58371 | 0.32747 | 0.26742 | 0.12412 | 0.13113 | 0.43077 |
| 480 | 320 | 0.60 | 312.65 | 348.25 | 12.40 | 0.49 | -0.00327 | -0.00307 | 0.00711 | 0 | -0.00120 | -0.00585 | 0.01347 | 0 | 1.5 | 0.96078 | 0.58371 | 0.28744 | 0.26742 | 0.10410 | 0.13113 | 0.41075 |
| 480 | 320 | 0.60 | 312.75 | 349.25 | 12.50 | 0.49 | -0.00327 | -0.00308 | 0.00713 | 0 | -0.00114 | -0.00590 | 0.01359 | 0 | 1.5 | 0.96078 | 0.58371 | 0.28744 | 0.26742 | 0.10410 | 0.13113 | 0.41075 |
| 480 | 320 | 0.60 | 312.65 | 349.35 | 12.37 | 0.49 | -0.00327 | -0.00307 | 0.00711 | 0 | -0.00113 | -0.00590 | 0.01360 | 0 | 1.5 | 0.96078 | 0.58371 | 0.28744 | 0.26742 | 0.10410 | 0.13113 | 0.41075 |
| 480 | 320 | 0.60 | 312.85 | 349.35 | 12.43 | 0.49 | -0.00326 | -0.00309 | 0.00716 | 0 | -0.00113 | -0.00590 | 0.01360 | 0 | 1.5 | 0.96078 | 0.58371 | 0.28744 | 0.26742 | 0.10410 | 0.13113 | 0.41075 |
| 480 | 320 | 0.60 | 312.95 | 349.65 | 12.47 | 0.49 | -0.00326 | -0.00310 | 0.00719 | 0 | -0.00111 | -0.00592 | 0.01363 | 0 | 1.5 | 0.96078 | 0.58371 | 0.28744 | 0.26742 | 0.10410 | 0.13113 | 0.41075 |
| 480 | 320 | 0.60 | 312.75 | 349.65 | 12.40 | 0.49 | -0.00327 | -0.00308 | 0.00713 | 0 | -0.00111 | -0.00592 | 0.01363 | 0 | 1.5 | 0.96078 | 0.58371 | 0.28744 | 0.26742 | 0.10410 | 0.13113 | 0.41075 |
| 480 | 320 | 0.60 | 312.65 | 349.65 | 12.30 | 0.49 | -0.00327 | -0.00307 | 0.00711 | 0 | -0.00110 | -0.00593 | 0.01366 | 0 | 1.5 | 0.96078 | 0.58371 | 0.28744 | 0.26742 | 0.10410 | 0.13113 | 0.41075 |
| 480 | 320 | 0.60 | 316.35 | 353.25 | 12.43 | 0.48 | -0.00307 | -0.00346 | 0.00802 | 0 | -0.00089 | -0.00609 | 0.01403 | 0 | 1.5 | 0.92308 | 0.58371 | 0.26915 | 0.26742 | 0.09522 | 0.13113 | 0.40130 |
| 480 | 320 | 0.80 | 316.45 | 352.35 | 12.53 | 0.48 | -0.00307 | -0.00347 | 0.00804 | 0 | -0.00094 | -0.00605 | 0.01393 | 0 | 1.5 | 0.92308 | 0.58371 | 0.26915 | 0.26742 | 0.09522 | 0.13113 | 0.40130 |
| 480 | 320 | 0.60 | 316.85 | 352.45 | 12.50 | 0.48 | -0.00305 | -0.00352 | 0.00813 | 0 | -0.00094 | -0.00605 | 0.01394 | 0 | 1.5 | 0.92308 | 0.58371 | 0.26915 | 0.26742 | 0.09522 | 0.13113 | 0.40130 |
| 480 | 320 | 0.60 | 316.85 | 353.35 | 12.50 | 0.48 | -0.00305 | -0.00352 | 0.00813 | 0 | -0.00088 | -0.00609 | 0.01404 | 0 | 1.5 | 0.92308 | 0.58371 | 0.26915 | 0.26742 | 0.09522 | 0.13113 | 0.40130 |
| 480 | 320 | 0.80 | 316.45 | 353.65 | 12.57 | 0.48 | -0.00307 | -0.00347 | 0.00804 | 0 | -0.00086 | -0.00611 | 0.01407 | 0 | 1.5 | 0.92308 | 0.58371 | 0.26915 | 0.26742 | 0.09522 | 0.13113 | 0.40130 |
| 480 | 320 | 0.60 | 316.25 | 353.75 | 12.70 | 0.48 | -0.00308 | -0.00345 | 0.00799 | 0 | -0.00086 | -0.00611 | 0.01408 | 0 | 1.5 | 0.92308 | 0.58371 | 0.26915 | 0.26742 | 0.09522 | 0.13113 | 0.40130 |
| 480 | 320 | 0.60 | 316.35 | 353.65 | 12.53 | 0.48 | -0.00307 | -0.00346 | 0.00802 | 0 | -0.00086 | -0.00611 | 0.01407 | 0 | 1.5 | 0.92308 | 0.58371 | 0.26915 | 0.26742 | 0.09522 | 0.13113 | 0.40130 |

Tabel 5. Perhitungan Data Debit 6L/Jam

| h_{35} (h ₃) | h_{31r} | h_{31a} | h_{mix} | $h_{35}(h_3)$ | h_{31r} | h_{31a} | h_{mix} | h_3 | h_5 | h_6 | h_7 | ρ_{udara} (kg.m ⁻³) | $C_p\ udara$ (kJ/kg.K) | \dot{m}_{ref} (kg/s) | \dot{m}_{35} (kg/s) | \dot{m}_{35} (kg/s) | Q_{sens} (watt) | Q_{sens} (watt) | Q_{sens} (watt) | Q_{sens} (watt) | η_{35} | COP |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|---------------|-----------|-----------|-----------|--------|-------|-------|--------|---|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------|------|
| Enthalpy (kJ/kg) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 157.72 | 144.85 | 177.02 | -2.3E-07 | 209.51 | 171.94 | 248.68 | -0.03 | 276.21 | 81.21 | 68.48 | 257.84 | 1.1614 | 1.007 | 0.00037 | 0.00163 | 0.00200 | 71.50 | 69.43 | 37.05 | 127.84 | 0.13 | 0.54 |
| 157.88 | 144.98 | 177.23 | -2.3E-07 | 209.51 | 171.94 | 248.68 | -0.03 | 275.68 | 81.34 | 68.48 | 257.86 | 1.1614 | 1.007 | 0.00041 | 0.00184 | 0.00225 | 80.43 | 78.38 | 36.45 | 143.72 | 0.14 | 0.55 |
| 157.56 | 144.72 | 176.81 | -2.3E-07 | 210.28 | 172.62 | 249.55 | -0.03 | 275.85 | 81.21 | 68.60 | 257.89 | 1.1614 | 1.007 | 0.00046 | 0.00204 | 0.00250 | 89.37 | 86.91 | 36.45 | 161.91 | 0.16 | 0.54 |
| 157.72 | 144.85 | 177.02 | -2.3E-07 | 210.47 | 172.79 | 249.76 | -0.03 | 277.43 | 81.47 | 67.25 | 257.64 | 1.1614 | 1.007 | 0.00055 | 0.00243 | 0.00298 | 107.24 | 104.19 | 38.87 | 193.83 | 0.19 | 0.54 |
| 157.39 | 144.59 | 176.60 | -2.3E-07 | 210.86 | 173.13 | 250.20 | -0.03 | 277.60 | 81.09 | 67.25 | 257.64 | 1.1614 | 1.007 | 0.00041 | 0.00182 | 0.00228 | 80.43 | 77.93 | 37.67 | 146.46 | 0.15 | 0.53 |
| 157.23 | 144.45 | 176.39 | -2.3E-07 | 211.44 | 173.64 | 250.85 | -0.03 | 275.85 | 81.21 | 66.40 | 257.61 | 1.1614 | 1.007 | 0.00060 | 0.00265 | 0.00325 | 116.18 | 114.14 | 38.58 | 214.62 | 0.21 | 0.53 |
| 157.23 | 144.46 | 176.39 | -2.3E-07 | 211.25 | 173.47 | 250.63 | -0.03 | 275.68 | 81.34 | 66.76 | 257.59 | 1.1614 | 1.007 | 0.00055 | 0.00245 | 0.00300 | 107.24 | 105.31 | 38.27 | 197.84 | 0.20 | 0.53 |
| 160.48 | 147.08 | 180.57 | -2.3E-07 | 218.34 | 178.44 | 256.73 | -0.03 | 280.24 | 83.25 | 67.01 | 257.59 | 1.1614 | 1.007 | 0.00059 | 0.00214 | 0.00273 | 116.18 | 112.40 | 49.47 | 194.73 | 0.19 | 0.58 |
| 160.64 | 147.21 | 180.78 | -2.3E-07 | 220.36 | 180.29 | 258.91 | -0.03 | 280.01 | 81.65 | 67.25 | 257.61 | 1.1614 | 1.007 | 0.00054 | 0.00197 | 0.00251 | 107.24 | 103.02 | 49.47 | 182.13 | 0.18 | 0.57 |
| 160.48 | 147.08 | 180.57 | -2.3E-07 | 220.56 | 180.47 | 259.13 | -0.03 | 280.57 | 83.25 | 67.99 | 257.66 | 1.1614 | 1.007 | 0.00041 | 0.00148 | 0.00189 | 80.43 | 77.32 | 49.17 | 138.02 | 0.14 | 0.56 |
| 160.80 | 147.34 | 180.99 | -2.2E-07 | 220.56 | 180.47 | 259.13 | -0.03 | 280.24 | 81.85 | 67.13 | 257.39 | 1.1614 | 1.007 | 0.00054 | 0.00197 | 0.00251 | 107.24 | 102.85 | 48.25 | 182.04 | 0.18 | 0.57 |
| 160.96 | 147.47 | 181.20 | -2.2E-07 | 221.17 | 181.04 | 259.79 | -0.03 | 280.33 | 81.98 | 67.13 | 257.61 | 1.1614 | 1.007 | 0.00041 | 0.00147 | 0.00188 | 80.43 | 77.24 | 49.79 | 137.18 | 0.14 | 0.56 |
| 160.64 | 147.21 | 180.78 | -2.3E-07 | 221.17 | 181.04 | 259.79 | -0.03 | 280.18 | 81.98 | 67.38 | 257.37 | 1.1614 | 1.007 | 0.00045 | 0.00164 | 0.00209 | 89.37 | 85.67 | 51.03 | 153.16 | 0.15 | 0.56 |
| 160.48 | 147.08 | 180.57 | -2.3E-07 | 221.58 | 181.42 | 260.22 | -0.03 | 280.49 | 82.10 | 67.62 | 257.42 | 1.1614 | 1.007 | 0.00050 | 0.00180 | 0.00230 | 98.31 | 94.05 | 50.74 | 169.58 | 0.17 | 0.55 |
| 166.51 | 151.97 | 188.33 | -2.1E-07 | 229.44 | 188.09 | 267.66 | -0.02 | 282.36 | 88.72 | 66.27 | 257.07 | 1.1614 | 1.007 | 0.00065 | 0.00215 | 0.00280 | 125.12 | 123.28 | 69.91 | 210.40 | 0.21 | 0.59 |
| 166.68 | 152.10 | 188.54 | -2.1E-07 | 227.55 | 186.28 | 266.69 | -0.02 | 282.68 | 88.86 | 64.67 | 257.04 | 1.1614 | 1.007 | 0.00074 | 0.00246 | 0.00320 | 142.99 | 142.01 | 66.73 | 235.42 | 0.24 | 0.60 |
| 167.33 | 152.63 | 189.38 | -2.1E-07 | 227.76 | 186.48 | 265.91 | -0.02 | 282.33 | 88.98 | 66.27 | 257.09 | 1.1614 | 1.007 | 0.00060 | 0.00200 | 0.00260 | 116.18 | 114.54 | 66.42 | 190.05 | 0.19 | 0.60 |
| 167.33 | 152.63 | 189.38 | -2.1E-07 | 229.65 | 188.29 | 267.88 | -0.02 | 282.91 | 88.85 | 66.40 | 257.24 | 1.1614 | 1.007 | 0.00064 | 0.00215 | 0.00279 | 125.12 | 123.05 | 67.05 | 208.46 | 0.21 | 0.59 |
| 166.68 | 152.10 | 188.54 | -2.1E-07 | 230.29 | 188.90 | 268.54 | -0.02 | 282.45 | 89.10 | 66.76 | 257.29 | 1.1614 | 1.007 | 0.00046 | 0.00154 | 0.00200 | 89.37 | 88.07 | 67.36 | 151.53 | 0.15 | 0.58 |
| 166.35 | 151.83 | 188.12 | -2.1E-07 | 230.90 | 189.11 | 268.76 | -0.02 | 282.47 | 88.98 | 66.89 | 257.32 | 1.1614 | 1.007 | 0.00037 | 0.00123 | 0.00160 | 71.50 | 70.37 | 66.42 | 121.93 | 0.12 | 0.58 |
| 166.51 | 151.97 | 188.33 | -2.1E-07 | 230.29 | 188.90 | 268.54 | -0.02 | 282.53 | 88.85 | 66.15 | 257.37 | 1.1614 | 1.007 | 0.00042 | 0.00138 | 0.00180 | 80.43 | 79.41 | 65.48 | 136.47 | 0.14 | 0.58 |

Tabel 6. Perhitungan Data Debit 8L/Jam

| m R22 (gr) | m DMF (gr) | X _m | T _i (K) | T _e (K) | P (bar) | X _{m2} | Strong Solution | | | | Weak Solution | | | | Y ₁ | | Y ₂ | | Y ₃ | | Y ₄ | |
|------------------|------------------|----------------|--------------------|--------------------|------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | | | | | K ₁ | K ₂ | K ₃ | K ₄ | K ₁ | K ₂ | K ₃ | K ₄ | S ₁ | W ₁ | S ₂ | W ₂ | S ₃ | W ₃ | S ₄ | W ₄ |
| 480 | 320 | 0.6 | 309.95 | 341.35 | 12.27 | 0.54 | -0.00342 | -0.00276 | 0.00640 | 0 | -0.00162 | -0.00546 | 0.01259 | 0 | 1.5 | 1.17391 | 0.58371 | 0.39738 | 0.26742 | 0.16086 | 0.13113 | 0.46433 |
| 480 | 320 | 0.6 | 309.95 | 341.45 | 12.27 | 0.54 | -0.00342 | -0.00276 | 0.00640 | 0 | -0.00162 | -0.00547 | 0.01260 | 0 | 1.5 | 1.17391 | 0.58371 | 0.39738 | 0.26742 | 0.16086 | 0.13113 | 0.46433 |
| 480 | 320 | 0.6 | 310.05 | 341.65 | 12.20 | 0.54 | -0.00341 | -0.00277 | 0.00643 | 0 | -0.00160 | -0.00548 | 0.01263 | 0 | 1.5 | 1.17391 | 0.58371 | 0.39738 | 0.26742 | 0.16086 | 0.13113 | 0.46433 |
| 480 | 320 | 0.6 | 309.95 | 341.75 | 12.30 | 0.54 | -0.00342 | -0.00276 | 0.00640 | 0 | -0.00160 | -0.00549 | 0.01265 | 0 | 1.5 | 1.17391 | 0.58371 | 0.39738 | 0.26742 | 0.16086 | 0.13113 | 0.46433 |
| 480 | 320 | 0.6 | 310.05 | 341.75 | 12.23 | 0.54 | -0.00341 | -0.00277 | 0.00643 | 0 | -0.00160 | -0.00549 | 0.01265 | 0 | 1.5 | 1.17391 | 0.58371 | 0.39738 | 0.26742 | 0.16086 | 0.13113 | 0.46433 |
| 480 | 320 | 0.6 | 310.15 | 341.95 | 12.27 | 0.54 | -0.00341 | -0.00278 | 0.00645 | 0 | -0.00158 | -0.00550 | 0.01267 | 0 | 1.5 | 1.17391 | 0.58371 | 0.39738 | 0.26742 | 0.16086 | 0.13113 | 0.46433 |
| 480 | 320 | 0.6 | 310.25 | 341.95 | 12.35 | 0.54 | -0.00340 | -0.00279 | 0.00646 | 0 | -0.00158 | -0.00550 | 0.01267 | 0 | 1.5 | 1.17391 | 0.58371 | 0.39738 | 0.26742 | 0.16086 | 0.13113 | 0.46433 |
| 480 | 320 | 0.6 | 310.45 | 344.45 | 12.47 | 0.51 | -0.00339 | -0.00282 | 0.00653 | 0 | -0.00143 | -0.00564 | 0.01300 | 0 | 1.5 | 1.04082 | 0.58371 | 0.32747 | 0.26742 | 0.12412 | 0.13113 | 0.43077 |
| 480 | 320 | 0.6 | 310.65 | 344.55 | 12.47 | 0.51 | -0.00338 | -0.00284 | 0.00659 | 0 | -0.00143 | -0.00565 | 0.01302 | 0 | 1.5 | 1.04082 | 0.58371 | 0.32747 | 0.26742 | 0.12412 | 0.13113 | 0.43077 |
| 480 | 320 | 0.6 | 310.65 | 344.75 | 12.37 | 0.51 | -0.00338 | -0.00284 | 0.00659 | 0 | -0.00141 | -0.00566 | 0.01304 | 0 | 1.5 | 1.04082 | 0.58371 | 0.32747 | 0.26742 | 0.12412 | 0.13113 | 0.43077 |
| 480 | 320 | 0.6 | 311.15 | 344.85 | 12.40 | 0.51 | -0.00335 | -0.00290 | 0.00672 | 0 | -0.00141 | -0.00566 | 0.01305 | 0 | 1.5 | 1.04082 | 0.58371 | 0.32747 | 0.26742 | 0.12412 | 0.13113 | 0.43077 |
| 480 | 320 | 0.6 | 311.45 | 344.85 | 12.47 | 0.51 | -0.00334 | -0.00293 | 0.00680 | 0 | -0.00141 | -0.00566 | 0.01305 | 0 | 1.5 | 1.04082 | 0.58371 | 0.32747 | 0.26742 | 0.12412 | 0.13113 | 0.43077 |
| 480 | 320 | 0.6 | 311.65 | 345.05 | 12.40 | 0.51 | -0.00333 | -0.00295 | 0.00685 | 0 | -0.00140 | -0.00568 | 0.01308 | 0 | 1.5 | 1.04082 | 0.58371 | 0.32747 | 0.26742 | 0.12412 | 0.13113 | 0.43077 |
| 480 | 320 | 0.6 | 311.95 | 344.95 | 12.43 | 0.51 | -0.00331 | -0.00299 | 0.00693 | 0 | -0.00140 | -0.00567 | 0.01307 | 0 | 1.5 | 1.04082 | 0.58371 | 0.32747 | 0.26742 | 0.12412 | 0.13113 | 0.43077 |
| 480 | 320 | 0.6 | 313.25 | 348.35 | 12.60 | 0.49 | -0.00324 | -0.00313 | 0.00726 | 0 | -0.00119 | -0.00585 | 0.01348 | 0 | 1.5 | 0.96078 | 0.58371 | 0.28744 | 0.26742 | 0.10410 | 0.13113 | 0.41075 |
| 480 | 320 | 0.6 | 313.55 | 348.45 | 12.57 | 0.49 | -0.00323 | -0.00317 | 0.00734 | 0 | -0.00119 | -0.00586 | 0.01348 | 0 | 1.5 | 0.96078 | 0.58371 | 0.28744 | 0.26742 | 0.10410 | 0.13113 | 0.41075 |
| 480 | 320 | 0.6 | 313.65 | 348.65 | 12.57 | 0.49 | -0.00322 | -0.00318 | 0.00736 | 0 | -0.00117 | -0.00587 | 0.01352 | 0 | 1.5 | 0.96078 | 0.58371 | 0.28744 | 0.26742 | 0.10410 | 0.13113 | 0.41075 |
| 480 | 320 | 0.6 | 313.85 | 348.65 | 12.70 | 0.49 | -0.00321 | -0.00320 | 0.00741 | 0 | -0.00117 | -0.00587 | 0.01352 | 0 | 1.5 | 0.96078 | 0.58371 | 0.28744 | 0.26742 | 0.10410 | 0.13113 | 0.41075 |
| 480 | 320 | 0.6 | 313.85 | 348.75 | 12.70 | 0.49 | -0.00321 | -0.00320 | 0.00741 | 0 | -0.00117 | -0.00587 | 0.01353 | 0 | 1.5 | 0.96078 | 0.58371 | 0.28744 | 0.26742 | 0.10410 | 0.13113 | 0.41075 |
| 480 | 320 | 0.6 | 313.95 | 348.75 | 12.67 | 0.49 | -0.00320 | -0.00321 | 0.00744 | 0 | -0.00117 | -0.00587 | 0.01353 | 0 | 1.5 | 0.96078 | 0.58371 | 0.28744 | 0.26742 | 0.10410 | 0.13113 | 0.41075 |
| 480 | 320 | 0.6 | 314.05 | 348.95 | 12.70 | 0.49 | -0.00320 | -0.00322 | 0.00746 | 0 | -0.00116 | -0.00588 | 0.01355 | 0 | 1.5 | 0.96078 | 0.58371 | 0.28744 | 0.26742 | 0.10410 | 0.13113 | 0.41075 |

Tabel 7. Perhitungan Data Debit 8L/Jam

| h_{ss} (h) | h_{slr} | h_{sls} | h_{mix} | h_{ws} (h) | h_{slr} | h_{sls} | h_{mix} | h_3 | h_5 | h_6 | h_7 | ρ_{udara} (kg/m ³) | $C_p \text{ udara}$ (kJ/kg.K) | m_{ref} (kg/s) | m_{ws} (kg/s) | m_{ss} (kg/s) | Q_{cond} (watt) | Q_{conv} (watt) | Q_{tot} (watt) | Q_{loss} (watt) | η_{sys} | COP |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------------|-----------|-----------|-----------|--------|-------|-------|--------|--|----------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|--------------|------|
| Energi (kJ/kg) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 156.10 | 143.55 | 174.93 | -2.4E-07 | 201.22 | 166.76 | 241.74 | -0.04 | 272.37 | 78.17 | 68.48 | 257.71 | 1.1614 | 1.007 | 0.00041 | 0.00276 | 0.00318 | 80.43 | 78.38 | 31.13 | 172.73 | 0.17 | 0.45 |
| 156.10 | 143.55 | 174.93 | -2.4E-07 | 201.40 | 166.92 | 241.96 | -0.04 | 272.63 | 78.55 | 68.60 | 257.74 | 1.1614 | 1.007 | 0.00046 | 0.00307 | 0.00359 | 89.37 | 87.10 | 31.53 | 192.73 | 0.19 | 0.45 |
| 156.26 | 143.68 | 175.14 | -2.4E-07 | 201.77 | 167.23 | 242.39 | -0.04 | 272.98 | 78.55 | 68.60 | 257.79 | 1.1614 | 1.007 | 0.00023 | 0.00153 | 0.00176 | 44.69 | 43.48 | 31.14 | 96.55 | 0.10 | 0.45 |
| 156.10 | 143.55 | 174.93 | -2.4E-07 | 201.95 | 167.39 | 242.61 | -0.04 | 272.54 | 78.92 | 68.85 | 257.84 | 1.1614 | 1.007 | 0.00042 | 0.00277 | 0.00319 | 80.43 | 78.51 | 31.14 | 175.36 | 0.18 | 0.45 |
| 156.26 | 143.68 | 175.14 | -2.4E-07 | 201.95 | 167.39 | 242.61 | -0.04 | 272.98 | 78.80 | 68.85 | 257.84 | 1.1614 | 1.007 | 0.00037 | 0.00245 | 0.00282 | 71.50 | 69.59 | 31.94 | 155.13 | 0.16 | 0.45 |
| 156.42 | 143.81 | 175.35 | -2.4E-07 | 202.32 | 167.70 | 243.04 | -0.04 | 272.97 | 78.92 | 69.09 | 257.89 | 1.1614 | 1.007 | 0.00037 | 0.00245 | 0.00282 | 71.50 | 69.56 | 31.55 | 155.68 | 0.16 | 0.45 |
| 156.59 | 143.94 | 175.56 | -2.4E-07 | 202.32 | 167.70 | 243.04 | -0.04 | 272.88 | 78.92 | 69.09 | 257.89 | 1.1614 | 1.007 | 0.00055 | 0.00369 | 0.00424 | 107.24 | 104.39 | 23.95 | 232.90 | 0.23 | 0.45 |
| 156.91 | 144.20 | 175.98 | -2.3E-07 | 209.32 | 171.77 | 248.46 | -0.03 | 274.87 | 80.83 | 69.21 | 257.98 | 1.1614 | 1.007 | 0.00037 | 0.00164 | 0.00201 | 71.50 | 69.55 | 46.06 | 129.29 | 0.13 | 0.54 |
| 157.23 | 144.46 | 176.39 | -2.3E-07 | 209.51 | 171.94 | 248.68 | -0.03 | 275.04 | 80.96 | 69.21 | 257.94 | 1.1614 | 1.007 | 0.00046 | 0.00205 | 0.00251 | 89.37 | 86.90 | 44.84 | 161.23 | 0.16 | 0.54 |
| 157.25 | 144.46 | 176.39 | -2.3E-07 | 209.89 | 172.28 | 249.11 | -0.03 | 274.96 | 80.86 | 69.59 | 257.66 | 1.1614 | 1.007 | 0.00037 | 0.00164 | 0.00201 | 71.50 | 69.32 | 45.66 | 129.64 | 0.13 | 0.53 |
| 158.04 | 145.11 | 177.44 | -2.3E-07 | 210.09 | 172.45 | 249.33 | -0.03 | 275.30 | 81.09 | 69.59 | 258.01 | 1.1614 | 1.007 | 0.00041 | 0.00184 | 0.00225 | 80.43 | 78.04 | 45.67 | 144.36 | 0.14 | 0.54 |
| 158.53 | 145.50 | 178.06 | -2.3E-07 | 210.09 | 172.45 | 249.33 | -0.03 | 275.13 | 81.21 | 69.96 | 258.03 | 1.1614 | 1.007 | 0.00037 | 0.00164 | 0.00201 | 71.50 | 69.34 | 46.49 | 127.48 | 0.13 | 0.54 |
| 158.85 | 145.77 | 178.48 | -2.3E-07 | 210.47 | 172.79 | 249.76 | -0.03 | 275.05 | 81.47 | 70.08 | 258.06 | 1.1614 | 1.007 | 0.00055 | 0.00246 | 0.00302 | 107.24 | 104.14 | 46.90 | 191.48 | 0.19 | 0.54 |
| 159.34 | 146.16 | 179.11 | -2.3E-07 | 210.28 | 172.62 | 249.55 | -0.03 | 275.13 | 81.72 | 70.20 | 258.06 | 1.1614 | 1.007 | 0.00046 | 0.00205 | 0.00252 | 89.37 | 86.80 | 48.13 | 158.12 | 0.16 | 0.55 |
| 161.45 | 147.87 | 181.83 | -2.2E-07 | 218.54 | 178.62 | 256.95 | -0.03 | 278.16 | 82.99 | 70.08 | 257.74 | 1.1614 | 1.007 | 0.00037 | 0.00133 | 0.00170 | 71.50 | 68.75 | 63.18 | 118.80 | 0.12 | 0.58 |
| 161.94 | 148.26 | 182.46 | -2.2E-07 | 218.74 | 178.80 | 257.17 | -0.03 | 277.92 | 83.25 | 70.08 | 257.74 | 1.1614 | 1.007 | 0.00046 | 0.00167 | 0.00213 | 89.37 | 86.15 | 62.78 | 148.07 | 0.15 | 0.58 |
| 162.10 | 148.39 | 182.67 | -2.2E-07 | 219.14 | 179.17 | 257.60 | -0.03 | 277.84 | 83.25 | 70.20 | 257.81 | 1.1614 | 1.007 | 0.00051 | 0.00184 | 0.00234 | 98.31 | 94.78 | 63.20 | 163.26 | 0.16 | 0.58 |
| 162.43 | 148.66 | 183.08 | -2.2E-07 | 219.14 | 179.17 | 257.60 | -0.03 | 277.85 | 83.50 | 70.33 | 257.84 | 1.1614 | 1.007 | 0.00051 | 0.00184 | 0.00235 | 98.31 | 94.85 | 63.63 | 162.70 | 0.16 | 0.58 |
| 162.43 | 148.66 | 183.08 | -2.2E-07 | 219.34 | 179.36 | 257.82 | -0.03 | 277.85 | 83.50 | 70.33 | 257.86 | 1.1614 | 1.007 | 0.00051 | 0.00184 | 0.00235 | 98.31 | 94.86 | 62.80 | 163.08 | 0.16 | 0.58 |
| 162.59 | 148.79 | 183.29 | -2.2E-07 | 219.34 | 179.36 | 257.82 | -0.03 | 278.10 | 83.63 | 70.58 | 257.91 | 1.1614 | 1.007 | 0.00041 | 0.00150 | 0.00192 | 80.43 | 77.48 | 63.23 | 133.13 | 0.13 | 0.58 |
| 162.75 | 148.92 | 183.50 | -2.2E-07 | 219.75 | 179.73 | 258.26 | -0.03 | 278.18 | 83.89 | 70.58 | 257.94 | 1.1614 | 1.007 | 0.00032 | 0.00117 | 0.00149 | 62.56 | 60.33 | 63.66 | 103.90 | 0.10 | 0.58 |

Tabel 8. Perhitungan Data Debit 10L/Jam

| m R22 (gr) | m DMF (gr) | X _{AS} | T ₂ (K) | T ₁ (K) | P (bar) | X _{WA} | Strong Solution | | | | Weak Solution | | | | Y ₂ | | Y ₁ | | Y ₂ | | Y ₁ | |
|------------------|------------------|-----------------|--------------------|--------------------|------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | | | | | K ₀ | K ₁ | K ₂ | K ₃ | K ₀ | K ₁ | K ₂ | K ₃ | S ₂ | W ₂ | S ₁ | W ₁ | S ₂ | W ₂ | S ₁ | W ₁ |
| 480 | 320 | 0.6 | 307.75 | 336.85 | 12.60 | 0.56 | -0.00353 | -0.00249 | 0.00579 | 0 | -0.00189 | -0.00518 | 0.01194 | 0 | 1.5 | 1.27273 | 0.58371 | 0.45175 | 0.26742 | 0.19077 | 0.13113 | 0.48979 |
| 480 | 320 | 0.6 | 307.85 | 336.95 | 12.57 | 0.56 | -0.00353 | -0.00251 | 0.00582 | 0 | -0.00189 | -0.00518 | 0.01196 | 0 | 1.5 | 1.27273 | 0.58371 | 0.45175 | 0.26742 | 0.19077 | 0.13113 | 0.48979 |
| 480 | 320 | 0.6 | 307.85 | 336.45 | 12.53 | 0.56 | -0.00353 | -0.00251 | 0.00582 | 0 | -0.00192 | -0.00515 | 0.01188 | 0 | 1.5 | 1.27273 | 0.58371 | 0.45175 | 0.26742 | 0.19077 | 0.13113 | 0.48979 |
| 480 | 320 | 0.6 | 308.25 | 336.15 | 12.47 | 0.56 | -0.00351 | -0.00255 | 0.00593 | 0 | -0.00193 | -0.00513 | 0.01183 | 0 | 1.5 | 1.27273 | 0.58371 | 0.45175 | 0.26742 | 0.19077 | 0.13113 | 0.48979 |
| 480 | 320 | 0.6 | 308.45 | 336.05 | 12.50 | 0.56 | -0.00350 | -0.00258 | 0.00599 | 0 | -0.00194 | -0.00512 | 0.01182 | 0 | 1.5 | 1.27273 | 0.58371 | 0.45175 | 0.26742 | 0.19077 | 0.13113 | 0.48979 |
| 480 | 320 | 0.6 | 308.75 | 336.05 | 12.63 | 0.56 | -0.00348 | -0.00261 | 0.00607 | 0 | -0.00194 | -0.00512 | 0.01182 | 0 | 1.5 | 1.27273 | 0.58371 | 0.45175 | 0.26742 | 0.19077 | 0.13113 | 0.48979 |
| 480 | 320 | 0.6 | 309.05 | 335.95 | 12.83 | 0.56 | -0.00347 | -0.00265 | 0.00616 | 0 | -0.00195 | -0.00512 | 0.01180 | 0 | 1.5 | 1.27273 | 0.58371 | 0.45175 | 0.26742 | 0.19077 | 0.13113 | 0.48979 |
| 480 | 320 | 0.6 | 310.05 | 339.35 | 12.60 | 0.54 | -0.00341 | -0.00277 | 0.00643 | 0 | -0.00174 | -0.00534 | 0.01231 | 0 | 1.5 | 1.17391 | 0.58371 | 0.39738 | 0.26742 | 0.16086 | 0.13113 | 0.46433 |
| 480 | 320 | 0.6 | 310.05 | 339.45 | 12.47 | 0.54 | -0.00341 | -0.00277 | 0.00643 | 0 | -0.00174 | -0.00534 | 0.01232 | 0 | 1.5 | 1.17391 | 0.58371 | 0.39738 | 0.26742 | 0.16086 | 0.13113 | 0.46433 |
| 480 | 320 | 0.6 | 310.35 | 339.85 | 12.27 | 0.54 | -0.00340 | -0.00280 | 0.00651 | 0 | -0.00171 | -0.00537 | 0.01238 | 0 | 1.5 | 1.17391 | 0.58371 | 0.39738 | 0.26742 | 0.16086 | 0.13113 | 0.46433 |
| 480 | 320 | 0.6 | 310.45 | 340.05 | 12.03 | 0.54 | -0.00339 | -0.00282 | 0.00653 | 0 | -0.00170 | -0.00538 | 0.01241 | 0 | 1.5 | 1.17391 | 0.58371 | 0.39738 | 0.26742 | 0.16086 | 0.13113 | 0.46433 |
| 480 | 320 | 0.6 | 310.75 | 340.05 | 12.07 | 0.54 | -0.00338 | -0.00285 | 0.00661 | 0 | -0.00170 | -0.00538 | 0.01241 | 0 | 1.5 | 1.17391 | 0.58371 | 0.39738 | 0.26742 | 0.16086 | 0.13113 | 0.46433 |
| 480 | 320 | 0.6 | 311.05 | 340.35 | 12.43 | 0.54 | -0.00336 | -0.00289 | 0.00669 | 0 | -0.00168 | -0.00540 | 0.01245 | 0 | 1.5 | 1.17391 | 0.58371 | 0.39738 | 0.26742 | 0.16086 | 0.13113 | 0.46433 |
| 480 | 320 | 0.6 | 311.45 | 340.45 | 12.37 | 0.54 | -0.00334 | -0.00293 | 0.00680 | 0 | -0.00168 | -0.00541 | 0.01247 | 0 | 1.5 | 1.17391 | 0.58371 | 0.39738 | 0.26742 | 0.16086 | 0.13113 | 0.46433 |
| 480 | 320 | 0.6 | 312.35 | 343.95 | 12.33 | 0.51 | -0.00329 | -0.00303 | 0.00703 | 0 | -0.00146 | -0.00561 | 0.01294 | 0 | 1.5 | 1.04082 | 0.58371 | 0.32747 | 0.26742 | 0.12412 | 0.13113 | 0.43077 |
| 480 | 320 | 0.6 | 312.45 | 343.95 | 12.73 | 0.51 | -0.00329 | -0.00304 | 0.00706 | 0 | -0.00146 | -0.00561 | 0.01294 | 0 | 1.5 | 1.04082 | 0.58371 | 0.32747 | 0.26742 | 0.12412 | 0.13113 | 0.43077 |
| 480 | 320 | 0.6 | 312.65 | 343.75 | 12.73 | 0.51 | -0.00327 | -0.00307 | 0.00711 | 0 | -0.00147 | -0.00560 | 0.01291 | 0 | 1.5 | 1.04082 | 0.58371 | 0.32747 | 0.26742 | 0.12412 | 0.13113 | 0.43077 |
| 480 | 320 | 0.6 | 312.75 | 343.85 | 12.80 | 0.51 | -0.00327 | -0.00308 | 0.00713 | 0 | -0.00147 | -0.00561 | 0.01293 | 0 | 1.5 | 1.04082 | 0.58371 | 0.32747 | 0.26742 | 0.12412 | 0.13113 | 0.43077 |
| 480 | 320 | 0.6 | 312.85 | 344.15 | 12.87 | 0.51 | -0.00326 | -0.00309 | 0.00716 | 0 | -0.00145 | -0.00563 | 0.01296 | 0 | 1.5 | 1.04082 | 0.58371 | 0.32747 | 0.26742 | 0.12412 | 0.13113 | 0.43077 |
| 480 | 320 | 0.6 | 312.85 | 344.45 | 12.77 | 0.51 | -0.00326 | -0.00309 | 0.00716 | 0 | -0.00143 | -0.00564 | 0.01300 | 0 | 1.5 | 1.04082 | 0.58371 | 0.32747 | 0.26742 | 0.12412 | 0.13113 | 0.43077 |
| 480 | 320 | 0.6 | 312.95 | 344.55 | 12.80 | 0.51 | -0.00326 | -0.00310 | 0.00719 | 0 | -0.00143 | -0.00565 | 0.01302 | 0 | 1.5 | 1.04082 | 0.58371 | 0.32747 | 0.26742 | 0.12412 | 0.13113 | 0.43077 |

Tabel 9. Perhitungan Data Debit 10L/Jam

| h_{ss} (h ₂) | $h_{sl\ r}$ | $h_{sl\ a}$ | h_{mix} | h_{ws} (h ₁) | $h_{sl\ r}$ | $h_{sl\ a}$ | h_{mix} | h_3 | h_5 | h_6 | h_7 | P_{shara} (kg/m ³) | Cp_{udara} (kJ/kg.K) | m_{ref} (kg/s) | m_{ws} (kg/s) | m_{ss} (kg/s) | Q_{cond} (watt) | Q_{cond} (watt) | Q_{evap} (watt) | Q_{evap} (watt) | η_{fan} | COP |
|-------------------------------|-------------|-------------|-----------|-------------------------------|-------------|-------------|-----------|--------|-------|-------|--------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------|------|
| Example (0.1 kg) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 152.55 | 140.69 | 170.35 | -2.4E-07 | 191.75 | 160.17 | 232.03 | -0.04 | 269.40 | 76.67 | 71.81 | 258.33 | 1.1614 | 1.007 | 0.00019 | 0.00185 | 0.00204 | 35.75 | 34.60 | 18.86 | 94.38 | 0.09 | 0.37 |
| 152.72 | 140.82 | 170.56 | -2.4E-07 | 191.92 | 160.31 | 232.25 | -0.04 | 269.57 | 76.80 | 71.69 | 258.28 | 1.1614 | 1.007 | 0.00032 | 0.00325 | 0.00357 | 62.56 | 60.55 | 20.35 | 165.16 | 0.17 | 0.37 |
| 152.72 | 140.82 | 170.56 | -2.4E-07 | 191.07 | 159.63 | 231.17 | -0.04 | 269.85 | 77.17 | 71.57 | 258.31 | 1.1614 | 1.007 | 0.00037 | 0.00371 | 0.00408 | 71.50 | 69.29 | 20.83 | 185.77 | 0.19 | 0.37 |
| 153.36 | 141.34 | 171.39 | -2.4E-07 | 190.55 | 159.22 | 230.53 | -0.04 | 270.02 | 76.92 | 71.69 | 258.18 | 1.1614 | 1.007 | 0.00042 | 0.00417 | 0.00458 | 80.43 | 77.68 | 17.85 | 203.53 | 0.20 | 0.38 |
| 153.68 | 141.60 | 171.81 | -2.4E-07 | 190.38 | 159.09 | 230.31 | -0.04 | 269.92 | 76.55 | 72.06 | 258.23 | 1.1614 | 1.007 | 0.00032 | 0.00324 | 0.00356 | 62.56 | 60.23 | 20.33 | 156.34 | 0.16 | 0.39 |
| 154.16 | 141.99 | 172.43 | -2.4E-07 | 190.38 | 159.09 | 230.31 | -0.04 | 269.91 | 76.42 | 72.06 | 258.28 | 1.1614 | 1.007 | 0.00032 | 0.00323 | 0.00356 | 62.56 | 60.21 | 21.82 | 154.53 | 0.15 | 0.39 |
| 154.65 | 142.37 | 173.06 | -2.4E-07 | 190.21 | 158.95 | 230.10 | -0.04 | 269.55 | 77.05 | 72.18 | 258.31 | 1.1614 | 1.007 | 0.00051 | 0.00511 | 0.00562 | 98.31 | 95.05 | 21.93 | 240.31 | 0.24 | 0.40 |
| 156.26 | 143.68 | 175.14 | -2.4E-07 | 197.99 | 163.73 | 237.42 | -0.04 | 272.62 | 77.05 | 71.32 | 258.16 | 1.1614 | 1.007 | 0.00055 | 0.00366 | 0.00420 | 107.24 | 102.46 | 29.92 | 214.89 | 0.21 | 0.48 |
| 156.26 | 143.68 | 175.14 | -2.4E-07 | 197.77 | 163.88 | 237.64 | -0.04 | 273.23 | 77.30 | 71.57 | 258.26 | 1.1614 | 1.007 | 0.00046 | 0.00304 | 0.00350 | 89.37 | 85.16 | 28.40 | 179.57 | 0.18 | 0.47 |
| 156.75 | 144.07 | 175.77 | -2.3E-07 | 198.49 | 164.48 | 238.50 | -0.04 | 273.49 | 77.42 | 71.69 | 258.28 | 1.1614 | 1.007 | 0.00041 | 0.00273 | 0.00315 | 80.43 | 76.55 | 24.84 | 162.05 | 0.16 | 0.47 |
| 156.91 | 144.20 | 175.98 | -2.3E-07 | 198.85 | 164.78 | 238.93 | -0.04 | 274.09 | 77.55 | 71.94 | 258.26 | 1.1614 | 1.007 | 0.00036 | 0.00243 | 0.00279 | 71.50 | 67.78 | 25.86 | 144.34 | 0.14 | 0.47 |
| 157.39 | 144.59 | 176.60 | -2.3E-07 | 198.85 | 164.78 | 238.93 | -0.04 | 274.35 | 77.30 | 72.06 | 258.31 | 1.1614 | 1.007 | 0.00032 | 0.00212 | 0.00243 | 62.56 | 59.13 | 27.89 | 124.87 | 0.12 | 0.47 |
| 157.88 | 144.98 | 177.23 | -2.3E-07 | 199.39 | 165.23 | 239.58 | -0.04 | 273.75 | 77.05 | 72.43 | 258.33 | 1.1614 | 1.007 | 0.00027 | 0.00182 | 0.00209 | 53.62 | 50.68 | 22.80 | 107.03 | 0.11 | 0.47 |
| 158.53 | 145.50 | 178.06 | -2.3E-07 | 199.57 | 165.38 | 239.80 | -0.04 | 273.92 | 76.80 | 72.56 | 258.38 | 1.1614 | 1.007 | 0.00032 | 0.00212 | 0.00243 | 62.56 | 58.97 | 29.32 | 123.46 | 0.12 | 0.48 |
| 159.99 | 146.68 | 179.94 | -2.3E-07 | 208.36 | 170.94 | 247.38 | -0.03 | 274.87 | 78.67 | 72.80 | 257.98 | 1.1614 | 1.007 | 0.00036 | 0.00162 | 0.00198 | 71.50 | 67.45 | 41.68 | 120.21 | 0.12 | 0.56 |
| 160.15 | 146.82 | 180.15 | -2.3E-07 | 208.36 | 170.94 | 247.38 | -0.03 | 275.63 | 78.55 | 72.68 | 257.96 | 1.1614 | 1.007 | 0.00037 | 0.00163 | 0.00199 | 71.50 | 67.80 | 38.54 | 120.04 | 0.12 | 0.56 |
| 160.48 | 147.08 | 180.57 | -2.3E-07 | 207.98 | 170.61 | 246.94 | -0.03 | 274.02 | 78.80 | 72.43 | 258.01 | 1.1614 | 1.007 | 0.00046 | 0.00203 | 0.00249 | 89.37 | 84.96 | 42.17 | 148.63 | 0.15 | 0.57 |
| 160.64 | 147.21 | 180.78 | -2.3E-07 | 208.17 | 170.77 | 247.16 | -0.03 | 273.84 | 78.92 | 72.43 | 258.06 | 1.1614 | 1.007 | 0.00041 | 0.00183 | 0.00225 | 80.43 | 76.60 | 38.52 | 133.88 | 0.13 | 0.57 |
| 160.80 | 147.34 | 180.99 | -2.2E-07 | 208.74 | 171.27 | 247.81 | -0.03 | 274.11 | 78.92 | 72.06 | 258.06 | 1.1614 | 1.007 | 0.00046 | 0.00204 | 0.00249 | 89.37 | 85.17 | 43.20 | 149.44 | 0.15 | 0.57 |
| 160.80 | 147.34 | 180.99 | -2.2E-07 | 209.32 | 171.77 | 248.46 | -0.03 | 274.11 | 78.80 | 72.18 | 258.11 | 1.1614 | 1.007 | 0.00046 | 0.00203 | 0.00249 | 89.37 | 85.08 | 45.81 | 150.52 | 0.15 | 0.57 |
| 160.96 | 147.47 | 181.20 | -2.2E-07 | 209.51 | 171.94 | 248.68 | -0.03 | 274.28 | 78.55 | 72.31 | 258.11 | 1.1614 | 1.007 | 0.00046 | 0.00203 | 0.00249 | 89.37 | 84.84 | 45.30 | 150.25 | 0.15 | 0.56 |

RIWAYAT PENULIS



Penulis bernama lengkap Rizkiawan Muhamad Firmansyah lahir pada tanggal 20 oktober 1992 di Bandung, Jawa Barat adalah anak pertama dari pasangan Ruskendar dan Mimin Sartikawati. Pendidikan penulis lebih banyak dihabiskan di Bandung mulai menempuh pendidikan di SDN Gumuruh Utara 1 (1998-2004), SMPN 4 Bandung (2004-2007),

SMAN 16 Bandung (2007-2010). Setelah tamat SMA penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke Politeknik Manufaktur Negeri Bandung pada tahun 2010 dan mengambil Jurusan Teknik Mekatronika. Setelah lulus D3 di Politeknik Manufaktur Negeri Bandung penulis melanjutkan pendidikan di Perguruan Tinggi Negeri Institut Teknologi Sepuluh November pada tahun awal tahun 2014. Di Jurusan Teknik Mesin ITS ini penulis mengambil bidang konversi energi. Khususnya pada teknik pendingin, oleh karena itu penulis mendedikasikan Tugas Akhir pada bidang mesin pendingin agar bermanfaat bagi masyarakat khususnya bagi diri sendiri. Dan penulis akan selalu berusaha supaya ilmu yang telah diperoleh dapat bermanfaat.